

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y
Telecomunicaciones**



TESIS

**“DISEÑO DE UN CLÚSTER DE TELECOMUNICACIONES
VÍA MICROONDAS PARA TRANSFERIR SERVICIO DE
INTERNET A LAS LOCALIDADES CON MÚLTIPLES
NECESIDADES DEL DISTRITO DE CHOTA”**

Presentado por:

Br. Cindy Mabel García Chasquero

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y
TELECOMUNICACIONES**

**Línea de investigación: Informática, Electrónica y
Telecomunicaciones**

Sub línea de investigación: Comunicaciones

Piura - Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones



**“DISEÑO DE UN CLÚSTER DE TELECOMUNICACIONES VÍA
MICROONDAS PARA TRANSFERIR SERVICIO DE INTERNET A
LAS LOCALIDADES CON MÚLTIPLES NECESIDADES DEL
DISTRITO DE CHOTA”**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez
ASESOR

Br. Cindy Mabel García Chasquero
AUTOR

Piura - Perú

2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE LA TESIS

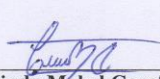
Yo: Cindy Mabel García Chasquero, con DNI N° 48164460 Bachiller de Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ciencias y domiciliado en Mz B12 Lote 17 piso 2, Tacala, Castilla, Celular: 998447789.

Email: Cgarcía.isitel@gmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, diciembre del 2019


Br. Cindy Mabel García Chasquero

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación a hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones

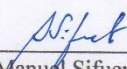


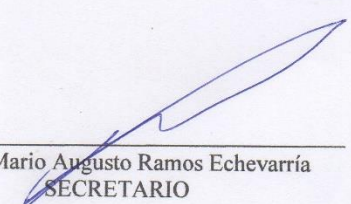
**“DISEÑO DE UN CLÚSTER DE TELECOMUNICACIONES VÍA
MICROONDAS PARA TRANSFERIR SERVICIO DE INTERNET A
LAS LOCALIDADES CON MÚLTIPLES NECESIDADES DEL
DISTRITO DE CHOTA”**


TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES


Ing. Ayax Manuel Sifuentes Montes. MSc
PRESIDENTE


Ing. Mario Augusto Ramos Echevarría
SECRETARIO


Ing. Franklin Barra Zapata. MSc
VOCAL

**Piura - Perú
2019**

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE CIENCIAS

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

ACTA DE SUSTENTACIÓN 084-2019-UI-FC-UNP

FACULTAD DE CIENCIAS

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada "DISEÑO DE UN CLÚSTER DE TELECOMUNICACIONES VÍA MICROONDAS PARA TRANSFERIR SERVICIO DE INTERNET A LAS LOCALIDADES CON MÚLTIPLES NECESIDADES DEL DISTRITO DE CHOTA - CAJAMARCA", presentado por la Señorita Bachiller CINDY MABEL GARCÍA CHASQUERO, con el asesoramiento del Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, la declaran:

APROBADA ☒

DESAPROBADA ☐

Con la mención de:

Muy Bueno

☒ En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**.

☒ En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**; después que la sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.


UNP

Piura, 23 de diciembre del 2019.


Ing. AYAX MANUEL SIFUENTES MONTES, MS.c.
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS


Ing. MARIO AUGUSTO RAMOS ECHEVARRÍA
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS


Ing. FRANKLIN BARRA ZAPATA, MS.c.
VOCAL DE JURADO DE TESIS



Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla
PIURA - PERU

DEDICATORIA

A mi mamá REINA CHASQUERO por acompañarme en este camino, por darme los ánimos que muchas veces lo necesite, por tu apoyo infinito, te dedico esto mamá.

A mi hermana GISELLA por su compañía, y su apoyo, para ti luna por acompañarme en mis noches de amanecida, en todos mis momentos.

A mi amado y recordado padre, mi ángel y héroe que está en el cielo, este logro va por ti papá HELI GARCÍA PEÑA.

AGRADECIMIENTO

Este logro no es solo mío, es gracias a Dios por darme la familia que tengo y por permitirme seguir adelante día a día.

Gracias a mis padres, HELI GARCÍA PEÑA y REINA CHASQUERO, mi papá por cuidarme y mi mamá por darme la mano para poder avanzar.

Gracias a mi abuelita TERESA PEÑA SAUCEDO, por todo el apoyo brindado y también a mis hermanos.

Finalmente, profundamente agradecida a mi asesor el Dr. CARLOS ENRIQUE ARELLANO RAMÍREZ ya que con su conocimiento, asesoría y conducción esa investigación pudo realizarse satisfactoriamente.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	16
I ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	17
1.1. ¡Error! Marcador no definido.	17
1.2. ¡Error! Marcador no definido.	19
1.2.1. Justificación de la investigación	19
1.2.2. Importancia de la investigación	20
1.3. ¡Error! Marcador no definido.	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. ¡Error! Marcador no definido.	20
II MARCO TEÓRICO	21
2.1. ¡Error! Marcador no definido.	21
2.2. ¡Error! Marcador no definido.	25
2.2.1. ¿Qué es un clúster de Telecomunicaciones?	25
2.2.2. Bandas de frecuencia licenciadas y no licenciadas	26
2.2.2.1. Banda Licenciada	26
2.2.2.2. Banda no Licenciada	27
2.2.3. Fenómenos de las ondas electromagnéticas	28
2.2.3.1. Refracción	28
2.2.3.2. Absorción	28
2.2.3.3. Reflexión	29
2.2.4. Antena	30
2.2.5. Polarización	31
2.3. ¡Error! Marcador no definido.	32
2.4. ¡Error! Marcador no definido.	32
2.5. ¡Error! Marcador no definido.	32
III MARCO METODOLÓGICO	33
3.1. ¡Error! Marcador no definido.	33
3.2. ¡Error! Marcador no definido.	33
3.3. ¡Error! Marcador no definido.	33
3.4. ¡Error! Marcador no definido.	34
3.5. ¡Error! Marcador no definido.	34
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. 3535	35
4.1.1. Provincia de Chota	35
4.1.2. Elección de pueblos a coberturar	37
4.2. ¡Error! Marcador no definido.	38

4.2.1. Ubicación de los nodos	38
4.2.1.1. Ubicación del nodo principal	38
4.2.1.2. Ubicación nodo intermedio	38
4.2.1.3. Ubicación de nodos terminales	38
4.2.2. Diseño de radioenlaces entre nodos (Ptp-point to point)	40
4.2.2.1. Nodo Chota a nodo Sivigan Bajo	40
4.2.2.2. Nodo Sivigan Bajo a nodo Sivigan Alto	40
4.2.2.3. Nodo Sivigan Bajo a nodo Chuyabamba	41
4.2.2.4. Nodo Sivigan Bajo a nodo Chulit alto	41
4.2.3. Diseño de los radioenlaces de nodo a estaciones internas (Point to multi point)	44
4.2.3.1. Estacion interna – Nodo Sivigan Bajo	45
4.2.3.2. Estaciones internas – Nodo Sivigan Alto	45
4.2.3.3. Estación interna – Nodo Chuyabamba	48
4.2.3.4. Estación interna – Nodo Chulit Alto	51
4.2.4. Desarrollo y simulación de radioenlaces	55
4.2.4.1. Enlace nodo Chota a nodo Sivigan Bajo	55
4.2.4.2. Enlace nodo Sivigan Bajo a nodo Sivigan Alto	59
4.2.4.3. Enlace nodo Sivigan Bajo a nodo Chuyabamba	63
4.2.4.4. Enlace nodo Sivigan Bajo a nodo Chulit Alto	67
4.2.4.5. Plan de frecuencias para red PTP	71
4.2.4.6. Diagrama del plan de frecuencias para red PTP	72
4.2.4.7. Enlace nodo Sivigan Alto a estación interna 1- (PMP).....	73
4.2.4.8. Enlace nodo Sivigan Alto a estación interna 2 - (PMP)	76
4.2.4.9. Enlace nodo Chuyabamba a estación interna 1 - (PMP).....	78
4.2.4.10. Enlace nodo Chuyabamba a estación interna 2 - (PMP)	80
4.2.4.11. Enlace nodo Chulit a estación interna 1 - (PMP)	82
4.2.4.12. Enlace nodo Chulit a estación interna 2 - (PMP)	85
4.2.4.13. Throughput de servicio del sistema de comunicaciones	88
4.3. Tecnología aplicada en el sistema de comunicaciones	89
4.3.1. Tecnología aplicada en los radioenlaces de comunicación entre nodos	89
4.3.1.1. CAMBIUM NETWORK PTP 650	89
4.3.1.2. RDH4506B	89
4.3.1.3. RDH4503B	90
4.3.1.4. RocketDish RD-5G30	91
4.3.1.5. POWERBEAM	92
4.3.2. Tecnología aplicada en los radioenlaces de comunicación entre nodos y estaciones internas.....	93
4.3.2.1. EPMP FORCE 190.....	93
4.3.2.2. EPMP FORCE 180.....	95
4.3.2.3. EPMP1000	96

4.3.3. Tecnología aplicada para brindar el servicio en las estaciones internas	96
4.3.3.1. EPMP1000 Hotspot	97
4.3.4. ¿Porqué aplicar equipos Cambium Networks y Ubiquiti?	97
4.3.5. ¿Porqué utilizar los softwares Link Planer y Radio Mobile?	98
4.4. Presupuesto para la implementación del Proyecto	99
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Fenómeno de refracción	28
Figura 2.2. Onda directa y reflejada sobre la superficie terrestre	30
Figura 2.3. Polarización vertical y horizontal	31
Figura 4.1. Mapa de la provincia de Chota	36
Figura 4.2. Ubicación de los pueblos beneficiarios	37
Figura 4.3. Distribución del sistema de comunicaciones	39
Figura 4.4. Diseño de los enlaces Point to Point (PTP)	42
Figura 4.5. Diseño de los enlaces Point to Point (PTP)	43
Figura 4.6. Radio de cobertura (180m) de la estación interna 1-Sivigan Bajo	45
Figura 4.7. Radio de cobertura (180m) de la estación interna 1-Sivigan Alto	46
Figura 4.8. Radio de cobertura (180m) de la estación interna 2-Sivigan Alto	46
Figura 4.9. Radio de cobertura de las dos estaciones internas en Sivigan Alto	47
Figura 4.10. Radio de cobertura de la estación interna 1- Chuyubamba	48
Figura 4.11. Radio de cobertura de la estación interna 2 - Chuyabamba	49
Figura 4.12. Radio de cobertura de las dos estaciones internas de Chuyabamba	50
Figura 4.13. Radio de cobertura de estación interna 1 – Chulit Alto	51
Figura 4.14. Radio de cobertura de estación interna 2 – Chulit Alto	52
Figura 4.15. Radio de cobertura de las dos estaciones internas en Chuyabamba	53
Figura 4.16. Diseño de los enlaces Point Multipoint en el sistema de comunicaciones (PMP)	54
Figura 4.17. Características y Esquemas de Modulación- “PTP 670” Cambium Networks	56
Figura 4.18. Esquema en Mbps - “PTP 670” Cambium Networks	56
Figura 4.19. Perfil de elevación Enlace nodo Chota a nodo Sivingan Bajo	57
Figura 4.20. Detalles del sistema - Enlace nodo Chota a nodo Sivingan Bajo	58
Figura 4.21. Características y Esquemas de Modulación- “PTP 670” Cambium Networks	60
Figura 4.22. Esquema en Mbps - “PTP 670” Cambium Networks	60
Figura 4.23. Perfil de elevación Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Sivingan Alto	61
Figura 4.24. Detalles del sistema - Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Sivingan Alto	62
Figura 4.25. Características y Esquemas de Modulación- “Roket M5” Ubiquiti Networks	64
Figura 4.26. Características y Esquemas de Antena- “RD-5G30” Ubiquiti Networks	64
Figura 4.27. Perfil de elevación Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chuyabamba	65
Figura 4.28. Detalles del sistema - Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chuyabamba.	66
Figura 4.29. Características y Esquemas de Modulación- “PBE-M5-620” Ubiquiti Networks	68
Figura 4.30. Características y Esquemas de Modulación- “PBE-M5-620” Ubiquiti Networks.	68
Figura 4.31. Perfil de elevación Enlace Sivingan Bajo a Chulit Alto.	69

Figura 4.32. Detalles del sistema - Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chulit Alto	70
Figura 4.33. Plan de frecuencias de red PTP	71
Figura 4.34. Diagrama de plan de frecuencias de red PTP.	72
Figura 4.35. Perfil de elevación Enlace Nodo Sivingan Alto a Estación interna 1	74
Figura 4.36. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Sivingan Alto a Estación interna 1	75
Figura 4.37. Perfil de elevación Enlace Sivingan Alto a Estación interna 2	77
Figura 4.38. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Sivingan Alto a Estación interna 2.	77
Figura 4.39. Perfil de elevación Enlace Nodo Chuyabamba a Estación interna 1	79
Figura 4.40. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chuyabamba a Estación interna 1	79
Figura 4.41. Perfil de elevación Enlace Nodo Chuyabamba a Estación interna 2	81
Figura 4.42. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chuyabamba a Estación interna 2	82
Figura 4.43. Perfil de elevación Enlace Nodo Chulit Alto a Estación interna 1	84
Figura 4.44. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chulit Alto a Estación interna 1	84
Figura 4.45. Perfil de elevación Enlace Nodo Chulit Alto a Estación interna 2	86
Figura 4.46. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chulit Alto a Estación interna 2	87
Figura 4.47. Distribución de throughput de servicio a cada localidad beneficiaria	88
Figura 4.48. Antena - “RDH4506B” CAMBIUM Networks	90
Figura 4.49. ANTENA - “RDH450B” Cambium Networks.	91
Figura 4.50. Antena - “RocketDish RD-5G30” Ubiquiti Networks.	92
Figura 4.51. Antena - “PBE-M5-620” Ubiquiti Networks.	93
Figura 4.52. ePmP Force190-Cambium Networks.	94
Figura 4.53. ePmP Force180-Cambium Networks.	95
Figura 4.54. ePmP 1000conectorizado - Cambium Networks.	96
Figura 4.55. ePmP1000 Hotspot - Cambium Networks	97

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tabla comparativa entre las 3 bandas libres	27
Tabla 4.1. Estación Chota a estación Sivigan Bajo	40
Tabla 4.2. Estación Sivingan Bajo a Sivingan Alto	40
Tabla 4.3. Estación Sivingan Bajo a Estación Chuyabamba.	41
Tabla 4.4. Estación Sivingan Bajo a Estación Chulit Alto	41
Tabla 4.5. Modulation Mode/Coding schemes Force180, Force190 and Force200	94
Tabla 4.6. Modulation Mode/Coding schemes Force180, Force190 and Force200	95
Tabla 4.7. Presupuesto para adquisición del sistema de comunicaciones	99

RESUMEN

En la presente tesis se desarrolló un clúster de telecomunicaciones con el propósito de obtener un servicio de comunicaciones para las localidades rurales de la provincia Chota, después de un estudio geográfico y socioeconómico se seleccionó a los pueblos beneficiarios, el diseño del sistema quedó conformado por 5 nodos, distribuidos de la siguiente manera, el nodo principal se situó en la provincia (Chota), el nodo intermedio en la localidad Sivingan y los tres nodos terminales ubicados en las localidades de Sivingan Bajo, Chuyabamba y Chulit Alto.

En el desarrollo del clúster de telecomunicaciones se utilizó el software Radio Mobile para simular los radioenlaces PTP (punto a punto) de estos cinco nodos, quienes están implementados por los equipos 670PTP, ROCKET M2 y POWERBEAM correspondientes a las marcas Cambium Network y Ubiquiti Networks, y en el caso de los enlaces PMP(punto multi punto) se empleó el software Link Planer para simular los enlaces de los nodos a las estaciones internas de cada de cada localidad mencionada, en este tipo de enlaces se emplearon los equipos Epmp Force 180 y Epmp 190 correspondiente a la marca CAMBIUM NETWORK.

La última fase del sistema se aplicó después de asegurar que se tenía la señal o servicio en las estaciones internas, esta fase del sistema que consiste en propagar el servicio por medio de Wifi a través de los equipos Epmp1000 Hotspot quienes tienen una cobertura de 180m de radio. En el nodo intermedio de Sivingan Alto no existieron enlaces PMPs porque el nodo se encuentra en una zona suficientemente cercana a la población situándose en el mismo nodo el equipo que cobertura directamente con servicio wifi a la localidad.

Palabras clave: Hotspot, Throughput, Cobertura, Radioenlace, ancho de banda y Codificación.

ABSTRACT

In this thesis a telecommunications cluster was developed with the purpose of obtaining a communications service for the rural towns of the Chota province, after a geographical and socioeconomic study the beneficiary towns were selected, the design of the system was made up of 5 Nodes, distributed as follows, the main node was located in the province (Chota), the intermediate node in the Sivingan locality and the three terminal nodes located in the towns of Sivingan Bajo, Chuyabamba and Chulit Alto.

In the development of the telecommunications cluster, Radio Mobile software was used to simulate the PTP radio links (point-to-point) of these five nodes, which are implemented by the 670PTP, ROCKET M2 and POWERBEAM equipment corresponding to the Cambium Network and Ubiquiti Networks brands, and in the case of the PMP links (multi point point) Link Planer software was used to simulate the links of the nodes to the internal stations of each of the mentioned locality, in this type of links the Epmp Force 180 equipment was used and Epmp 190 corresponding to the CAMBIUM NETWORK brand.

The last phase of the system was applied after ensuring that the signal or service was had in the internal stations, this phase of the system that consists in propagating the service through Wifi through the Epmp1000 Hotspot equipment which has a 180m coverage of radio. In the intermediate node of Sivingan Alto there were no PMPs links because the node is located in an area sufficiently close to the population, the equipment that directly covers Wi-Fi service to the town being located in the same node.

Keywords: Hotspot, Throughput, Coverage, Radiolink, Bandwidth and Coding.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años la ciencia ha desarrollado múltiples avances en todas las áreas tecnológicas, el rubro de las telecomunicaciones se ha encargado de sofisticar los sistemas de comunicaciones, ocupándose de la generación, transmisión, recepción y procesamiento de señales, etc. con la finalidad de estos brindar mejoras y eficiencia en los sistemas a través de la aplicación de estos.

Hoy en día las comunicaciones inalámbricas se han hecho indispensables para todas las personas, esto se debe a que los fenómenos que ocurren en la otra parte del mundo pueden repercutirnos, por ello la importancia de tener un mundo comunicado cada vez es mayor. El internet se ha convertido en un medio idóneo para impartir una enseñanza de progreso y de calidad no solo para empresas sino para organizaciones educativas y entidades públicas que elaboran proyectos de actualización para llevar a las comunidades una mayor cantidad de aprendizaje, actualmente internet es denominada la red más grande del mundo quien está aumentando la disponibilidad de la información, además de la facilidad y velocidad de la comunicación, a través de la conexión de millones de computadoras internet hace posible que usuarios de las mismas intercambien imágenes, textos, sonido, software y cualquier tipo de información que pueda ser almacenada de manera digital.

El primer capítulo de esta investigación se enfocó en identificar las necesidades primordiales que tienen los pueblos que conforman del distrito de Chota, se detallan los principales aspectos y la importancia por la que se tiene que desarrollar este proyecto, en el segundo capítulo se detallaron los diversos conceptos teóricos que fundamentan los principios de este sistema y los antecedentes que le dan sustento a la investigación, en el tercer capítulo se describieron todos los aspectos a tener en cuenta en el desarrollo de este clúster, finalmente en el cuarto capítulo se establecieron los parámetros técnicos para concretar el diseño del clúster, asimismo se demuestra que el proyecto fue realizado y culminado con resultados positivos simulándolos con software's especializados.

I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Según la última encuesta Nacional de Hogares que realizó el Instituto Nacional De Estadística e Informática (INEI) en el año 2017 reveló que en el distrito de Chota hay 164 502 habitantes de los cuales delos cuales el 61,2% (100 674 habitantes) se encuentran en calidad de pobres, y un 29,4% (48 314 habitantes) en pobres extremos, (Instituto Nacional De Estadística e Informática, 2017).

El diario Andina (Agencia peruana de noticias) informó que la empresa minera Río Tinto seguirá a cargo del proyecto minero La Granja de Cajamarca ubicado en la provincia de Chota y considero como uno de los yacimientos de cobre más grandes del mundo, Señaló que la minera de capitales británicos continuará con la fase de exploración del **proyecto minero**, cuya concesión le fue adjudicada a fines del 2005 luego del concurso público internacional, tras haber cancelado al Estado la suma de 5 millones de dólares, (Diario Andina, 2019).

Asimismo el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) en conjunto con la Dirección Nacional de Seguimiento y evaluación (DNSE) indicaron que el distrito de Chota cuenta con una expansión territorial de 3795 Km² y a 2387msnm, y percibió un devengado per cápita en el año 2016 de S/ 1505 y en el año 2017 S/ 993 (CEPLAN y DNSE, 2017).

Por otro lado el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) indicó que desde finales del mes de octubre del 2016 se viene suscitando la presencia de una fuerte sequía, acompañada de heladas, provocando una fuerte insolación pro el día y fríos intensos por las noches y madrugadas, 15 localidades del distrito de Chota carecen del líquido elemento, se han perdido hectáreas de cultivos de pan llevar , afectado otros tantos, así como la perdida y afectación de pastos naturales y plantas frutales, y de otro lado afecta la salud de los pobladores, sobre todo con enfermedades respiratorias. Entre las localidades más afectadas se encuentran Chuyabamba, Sivingan Alto y Bajo,

Llasavilca, Chulit, entre otros, evidenciándose grandes hectáreas de cultivo afectado, Ganado Ovino, Vacuno y caprino, (Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación, 2016).

Según el MIDIS (Ministerio de desarrollo e inclusión social) informó que pequeños agricultores del distrito de Chota han adquirido nuevas capacidades productivas en los cultivos de pastos mejorados, papa y otros productos de pan como también asistencia técnica y capacitación como parte de la ejecución del proyecto de mejoramiento del sistema de riego del canal Aparinaco, financiado por FONCODES, programa nacional del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social, (Ministerio de desarrollo e inclusión social, 2014).

El **Poder Ejecutivo** declaró en emergencia distritos en quince regiones afectadas por las intensas lluvias que en las últimas semanas han dejado miles de afectados y cientos de viviendas dañadas, Según información brindada por **el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci)**, estas son las provincias con distritos que se han declarado en emergencia en el departamento de Cajamarca: Cajabamba, Cajamarca, San Marcos, Contumazá, Jaén, San Ignacio, Cutervo, Chota, Celendín, Hualgayoc, San Pablo, (Radio programas del Perú, 2019).

En esta tesis se pretende diseñar un clúster de telecomunicaciones vía microondas para transferir servicio de internet a las localidades con múltiples necesidades del distrito de Chota. Inicialmente se analizará y determinará quienes serán los pueblos beneficiarios de acuerdo a sus necesidades geográficas, climatológicas, nivel de pobreza, etc. Posterior a esto se establecerán de modo estratégico para la ubicación de los nodos, seguidamente se escogerá un software de simulación idóneo para este sistema, asimismo la tecnología adecuada que opere en este tipo de territorios.

Definición del problema

Siendo Chota una provincia y distrito que cuenta con yacimientos mineros concesionados a transnacionales a su vez pertenece a una región que también lidera en niveles de inversión de este rubro, un nivel elevado de agricultura como actividad económica primordial, es deducible que la calidad de vida y nivel socioeconómico de la población sea el óptimo, pero lamentablemente es una situación que no se ve reflejada, lo que se busca con esta propuesta es que a través de este servicio los pobladores beneficiarios rompan esa barrera del aislamiento tecnológico que trae consigo un desarrollo global, que cuenten con acceso libre a la información, asimismo tengan el beneficio de tener una comunicación a través de las diversas plataformas que cuenta esta red.

Formulación del problema de investigación

¿Será posible diseñar un clúster de telecomunicaciones vía microondas para transferir servicio de internet a las localidades con múltiples necesidades del distrito de Chota?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación de la investigación

Considerando las necesidades, devastaciones, índices de pobreza, etc con los que cuentan las localidades del distrito de Chota, el nivel económico que genera este distrito en conjunto con su provincia al Perú y la magnitud de población que carece de desarrollo tecnológico y requieren acceso a esta tecnología para ampliar sus capacidades tanto para su crecimiento económico, educativo y en calidad de vida, es por ello que las localidades del distrito de Chota tienen que contar con este servicio que les prevea internet con un buen ancho de banda.

1.2.2. Importancia de la investigación

Esta investigación es muy importante ya que se promueve el desarrollo a localidades rurales que no cuentan con este servicio, asimismo se están presentado múltiples proyectos de telecomunicaciones alrededor del Perú por parte del gobierno, con lo cual contribuye como propuesta para su desarrollo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un clúster de telecomunicaciones vía microondas para transferir servicio de internet a las localidades con múltiples necesidades del distrito de chota.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio de gabinete y de campo en el diseño de un clúster de telecomunicaciones vía microondas para transferir servicio de internet a las localidades con múltiples necesidades del distrito de chota.
- Realizar el estudio de propagación para poder enlazar los nodos respectivos y coberturar con servicio de internet a las localidades con múltiples necesidades del distrito de chota.
- Proponer la tecnología idónea en el diseño del clúster de telecomunicaciones vía microondas.
- Realizar el presupuesto para la implementación del clúster de telecomunicaciones vía microondas.

1.4. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación se realizará en el departamento de Piura y Cajamarca durante el segundo semestre del año 2019.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Según **Fernando Wilfredo Ramírez Marocho (Perú, 2017)**, En la investigación titulada “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES CON REDES AD HOC DE DRONES COMO ALTERNATIVA DE MEDIO DE COMUNICACIÓN PARA HACER FRENTE A DESASTRES NATURALES”, en la presente tesis busca una solución para brindar un medio de comunicación para las ciudades afectadas por desastres naturales, ocasionando grandes destrucciones de patrimonio e infraestructura del Perú, como ciudades y carreteras, y en algunos casos se han perdido la comunicación entre ciudades.

Para el desarrollo de esta tesis se realiza una investigación sobre la utilización de las redes ad hoc en el mundo y una analogía de cómo poder utilizar esta tecnología en nuestra tesis. Posteriormente se realiza un reconocimiento de la zona en la cual se va implementar. Luego se procede a realizar un estudio de las diferentes herramientas de simulación de redes inalámbricas, en donde encontramos la herramienta OPNET como la más adecuada. El objetivo del diseño del sistema es comunicar dos ciudades que se encuentran a una distancia de 3km aproximadamente y la superficie de esta se considerará ideal, es decir no presentará ningún tipo de bloqueo y/o interferencias como edificios, árboles, entre otros objetos. Se requiere un mínimo de ancho de banda (3kb/s) para poder enviar y recibir mensajes a través de la aplicación WhatsApp, Se requiere utilizar una frecuencia libre de 2.4 GHz. La cantidad de drones será como máximo 10, esto debido a que la distancia de comunicación entre drones es de 800 mts y la distancia de comunicación de las centrales con un dron es de 900 mt. Cada dron poseerá un El D-Link DAP 3690 Air Primer N Outdoor Dual and PoE Acces Point, actuando como nodos intermedios y lograr comunicar las 2 ciudades por un tiempo máximo de 2 horas.

Por otro lado **José Humberto Quispe Marce (Perú, 2017)**, en su investigación titulada “SIMULACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA ESTÁNDAR IEEE 802.16E CON LINKPLANNER PARA DAR SERVICIO DE INTERNET EN DISTRITO DE ÁCORA”, en este proyecto de tesis José tiene como objetivo diseñar una red que brinde servicio de internet al distrito de Ácora.

José aplica este proyecto en el distrito de Ácora, provincia Juliaca, departamento de Puno.

Para el desarrollo de su investigación toma una población conformada por 7 municipios que pertenecen a este distrito, los criterios técnicos tomados en cuenta para realizar el diseño fueron zona de Fresnel, PIRE, atenuaciones en el espacio libre, desvanecimiento, presupuesto de enlace, valida sus simulaciones haciendo uso del software link Planer, Google Earth y radio Mobile.

En el diseño que José aplica hace una búsqueda de un nodo repetidor que este ubicado en la zona más alta posible para que de esta manera pueda tener línea de vista y coberturar a los siete municipios con gran factibilidad, aplicó esto en vista a que en el distrito de Ácora no era conveniente colocar la torre puesto a que la ubicación no era favorable para coberturar a los municipios de interés.

En el desarrollo de su diseño hace uso de enlaces PTP (Point to Point) y también enlaces PMP (Point to Multipoint) con el uso de los equipos de la marca cambium network (PTP 650, PMP 450 y Epmp 1000) de acceso inalámbrico de banda ancha; estos equipos operan con bandas no licenciadas.

Finalmente, según el proyecto de banda ancha-FITEL al distrito de Ácora llegará la red de fibra óptica de banda ancha, por lo que se situará en el distrito un nodo de transporte y en el cerro estará un nodo de acceso, finalmente su red está compuesta por seis nodos terminales, un nodo intermedio y un nodo matriz (nodo repetidor ubicado en el cerro).

Asimismo **Melvin Antonio Tercero Carrasco y Ronnier Noxoly Rivera Morales, (Nicaragua, 2013)**, En la investigación titulada “DISEÑO DE INTERCONEXIÓN PARA ENLACE DE MICROONDAS PUNTO A PUNTO ENTRE LAS COMUNIDADES DE SAN CARLOS Y EL ARCHIPIÉLAGO DE SOLENTINAME”, aborda aspectos técnicos que permiten explicar el desarrollo del diseño de un radio enlace punto a punto, las características del terreno, el levantamiento del perfil, la altura de las antenas, las características del hardware y los equipos que forman parte de su arquitectura y un diagrama para la disposición de los mismos. También realizan una investigación del método de diseño de un radio enlace con el propósito de comunicar con esta tecnología inalámbrica las comunidades de san Carlos y Solentiname en el departamento de Río San Juan. Tales propósitos responden a la necesidad de ofrecer un servicio de información y comunicación a dichas comunidades. Con ello pretenden realizar una propuesta de diseño para un servicio de telecomunicaciones entre estos dos sitios.

Para llevar la simulación usan el software Pathloss, el cual es una herramienta de diseño de ruta completa para radioenlaces que funcionan en la gama de frecuencias de 30 MHz a 100GHz.

El programa está organizado en módulos de diseño de rutas, un módulo de zona de cobertura de la señal y un módulo de red que integra las trayectorias de radio de análisis de cobertura. Todo esto indica que Pathloss es una herramienta inteligente, potente y profesional que ayuda a diseñar el enlace punto a punto.

Ambos tesisistas recomiendan tener en cuenta todas las recomendaciones de la UIT que garantizan la operación de un radioenlace punto a punto de microondas entre dos o más sitios.

Finalmente **Aybar Carmona Jerson Jesús, García Miranda Erick Eduardo y Arenas Yataco Esther (Perú, 2016)**, en su proyecto de tesis titulado “DISEÑO Y APLICACIÓN UN SISTEMA DE COMUNICACIONES VIA RED DE DATOS PARA MEJORAR LA TOMA DE DECISIONES EN LA SEDE DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DE LA CIUDAD DE ICA”, desarrollan un diseño y aplicación de un sistema de comunicaciones basado en una red de datos ante el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Gobierno Regional de Ica, generando eficiencia en sus sistemas aportando en la mejora respecto a la toma de decisiones.

Los tesisistas realizan un estudio inicial para definir con qué sistema de comunicación operarían teniendo como alternativas a la comunicación satelital, comunicación por Fibra Óptica y la comunicación por microondas, concluyen que implementar un sistema satelital es muy costoso a su vez cada segmento satelital limita el ancho de banda del sistema, respecto al uso de sistemas de fibra debe realizarse en lugares donde la instalación y el mantenimiento no sea tan complicado ni costoso, además la demanda de mercado lo permita, como es el caso de la costa, donde una red DWDM se justificaría debido al gran tráfico que generan ciudades como Arequipa, Trujillo y Chiclayo.

La implementación de una red nacional mixta, es decir fibra óptica, microondas y Satélite no tiene ningún inconveniente técnico, ya que la integración de las tres tecnologías es posible, tanto desde el punto de vista de transmisión como de Gestión. En el mundo hay muchos ejemplos de países de redes similares. Los sistemas de comunicaciones por Microondas son la mejor solución para redes de transporte (Troncales) en lugares de difícil geografía, como lo es en gran parte de nuestro país, y esto está demostrado en que la más grande red de comunicaciones que interconecta casi todo el Perú es justamente una red de Microondas SDH / PDH.

Se llegó a la conclusión de que la mejor tecnología a ser implementada para la red planteada es la tecnología por microonda digital, debido a que las características geográficas de la región juegan un papel muy importante pues es una zona muy difícil y extensa con sol gran parte del año y zonas agrestes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. ¿QUÉ ES UN CLÚSTER DE TELECOMUNICACIONES?

Partiremos definiendo el termino clúster, que significa grupo o racimo. Un clúster de comunicaciones es una colección de hardware y software compatible dispuesto para comunicar información de un lugar a otro de manera inalámbrica. Estos sistemas pueden transmitir todo tipo de información por ejemplo textos, gráficos, voz, documentos o información de video en movimiento completo.

Consiste en una infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hasta el destino, y con base en esa infraestructura se ofrecen a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones En lo sucesivo se denominará "red de telecomunicaciones" a la infraestructura encargada del transporte de la información.

Para recibir un servicio de telecomunicaciones, un usuario utiliza un equipo terminal a través del cual obtiene entrada a la red por medio de un canal de acceso. Cada servicio de telecomunicaciones tiene distintas características, puede utilizar diferentes redes de transporte, y, por tanto, el usuario requiere de distintos equipos terminales.

En general se puede afirmar que una red de telecomunicaciones consiste en las siguientes componentes:

- a) un conjunto de nodos en los cuales se procesa la información.
- b) un conjunto de enlaces o canales que conectan los nodos entre sí y a través de los cuales se envía la información desde y hacia los nodos.

2.2.2. BANDAS DE FRECUENCIA LICENCIADAS Y NO LICENCIADAS

Las bandas de frecuencia son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones. Su uso está regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones y puede variar según el lugar. El espacio asignado a las diferentes bandas abarca el espectro de radiofrecuencia y está dividido en sectores. Una banda de radiofrecuencia es una pequeña sección de frecuencias del espectro radioeléctrico utilizada en comunicaciones por radio, en la que los canales de comunicación se utilizan para servicios similares con el fin de evitar interferencias y permitir un uso eficiente del espectro. Por ejemplo, radiodifusión, telefonía móvil o radionavegación, se colocan en rangos de frecuencias no solapados. Cada una de estas bandas tiene una asignación de frecuencias que determina cómo se utiliza y se comparte para evitar interferencias entre canales y especificar el protocolo de comunicación que permita la comunicación entre el emisor y el receptor.

Por encima de los 300 GHz, la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera (debido principalmente al ozono, vapor de agua y dióxido de carbono) es tan grande que resulta opaca a las emisiones electromagnéticas, hasta que se vuelve nuevamente transparente cerca del infrarrojo y en los rangos de la luz visible. El espectro radioeléctrico se separa en bandas según la longitud de onda (λ) en divisiones de 10M metros, o frecuencias de 3×10^9 hercios ($c = \lambda \cdot f$). Por ejemplo, 30 MHz, ó 10 m, divide la banda de HF de la de VHF (de menor longitud de onda y mayor frecuencia).

2.2.2.1 BANDA LICENCIADA

La banda licenciada es aquella que no es de uso libre y para entrar en operación requiere de un permiso especial por el gobierno competente, dependiendo de la región en la que se pretender poner en operación. Para operar en una banda licenciada se requiere pagar los derechos correspondientes, una ventaja de esta banda es que al obtener el permiso para usarla otro usuario no puede operar en ella en el sector que se ha adjudicado, haciendo única la transmisión de la señal en esa banda de frecuencia.

2.2.2.2 BANDA NO LICENCIADA

La ingeniería asociada a un despliegue en banda libre conlleva como fase inicial la elección de la frecuencia de trabajo entre las disponibles dentro de la regulación pertinente, así como el diseño radioeléctrico del vano. Para dicho diseño los elementos susceptibles de ser diseñados suelen ceñirse a la unidad radio y la antena (si no se usan las habituales radios con antenas integradas). Para ello existen numerosas herramientas propias del fabricante o de terceros que facilitan la previsión de resultados que puede esperarse de cada enlace.

El ministerio de transportes y comunicaciones en Perú el año 2013 publico el TUO (texto único ordenado) del reglamento de ley de las telecomunicaciones donde establece que las bandas libres en el espectro radioeléctrico son aquellas que operen en los 900Mhz, 2400Mhz y 5800Mhz a su vez transmitan a una potencia no superior a los 4w(36dbm) en la antena.

	900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
Popularidad	No usadas ampliamente en redes WISP	Ampliamente Usadas	Volviéndose ampliamente usadas
Velocidad	Bajo Throughput	Alto Throughput	Alto Throughput
Costo	No caro	No caro	No caro
Frecuencia	Abarrotado, Buen Uso Nlos	Abarrotado	No abarrotado
Alcance	Alcance débil	Alcance promedio	Alcance promedio
Aplicación	Mesh, ptmp cortos con muchos obstáculos	Mesh, ptp, ptmp	Backhaul, ptp, ptmp

Tabla 2.1. Tabla comparativa entre las 3 bandas libres.

Fuente: <https://comunicacionesupc.wordpress.com/2011/01/15/bandas-de-frecuencias-no-licenciadas/>(comunicaciones UPC, 2018)

2.2.3. FENÓMENOS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

2.2.3.1. REFRACCIÓN

La refracción es la desviación de las ondas cuando encuentran un medio de composición diferente, por lo que un frente de onda al pasar de un medio a otro cambia de velocidad y en consecuencia de dirección.

La refracción se refiere al cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga la onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por lo tanto hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro con distinta densidad. (Wayne Tomasi, Sistemas de comunicación electrónica, Phoenix Arizona, 4ta edición, Prentice Hall, 2003).

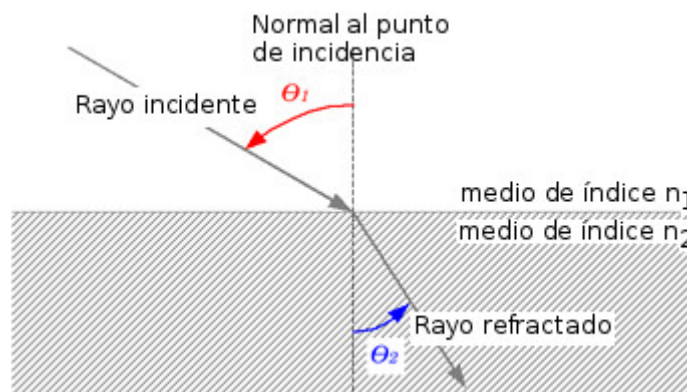


Figura 2.1. Fenómeno de refracción

Fuente: (Pág. Web Aulas Uruguay educa- refracción)

2.2.3.2. ABSORCIÓN

La causa de la absorción de las ondas electromagnéticas al viajar por el aire es que el aire no es un vacío, sino que está formado por átomos y moléculas de distintas sustancias gaseosas, líquidas. Estos materiales pueden absorber a las ondas electromagnéticas causando pérdidas por

absorción. Cuando la onda electromagnética se propaga por la atmosfera terrestre, se transfiere energía de la onda a los átomos y moléculas atmosféricos. (Wayne Tomasi, Sistemas de comunicación electrónica, Phoenix Arizona, 4ta edición, Prentice Hall, 2003).

La absorción de la onda por la atmosfera es análoga a una pérdida de potencia I^2R , una vez absorbida la energía se pierde para siempre, lo que provoca una atenuación en las intensidades del voltaje y campo magnético al igual que una reducción correspondiente en la densidad de potencia. (Wayne Tomasi, Sistemas de comunicación electrónica, Phoenix Arizona, 4ta edición, Prentice Hall, 2003).

También se encuentra absorción intermedia en rocas, ladrillos y concreto, dependiendo de su composición, y en el caso de árboles y otros materiales, su comportamiento es determinado por su concentración de agua. (H. Medina Guzmán, Física II, Lima: PUCP, 2000).

2.2.3.3. REFLEXIÓN

La reflexión se refiere al choque de la onda electromagnética con la frontera entre dos medios y parte a toda la potencia de la onda no se propaga en un medio, sino que es reflejada en dirección opuesta al segundo medio. (Wayne Tomasi, Sistemas de comunicación electrónica, Phoenix Arizona, 4ta edición, Prentice Hall, 2003).

El efecto más obvio de la presencia de suelo en la propagación de radiofrecuencia y microondas es la reflexión de la superficie de la Tierra, sea mar o tierra. La onda reflejada es generalmente más pequeña en amplitud que la onda directa por la larga distancia que viaja, el hecho es que generalmente irradia de la región del lóbulo lateral de la antena transmisora y el suelo no es un reflector perfecto. Sin embargo, la señal recibida en el receptor será el vector suma de dos componentes de onda y podría ser mayor o menor que la onda directa sola. Debido a que las distancias involucradas son normalmente muy largas en términos de longitud de onda eléctrica, aún una pequeña variación en la permitividad de la atmosfera puede causar desvanecimiento (fluctuación a largo plazo)

o cintilación (fluctuación a corto plazo) en la fuerza de la señal. Estos efectos también pueden ser causados por reflexiones y variaciones no homogéneas en la atmósfera. (D. M. Pozar, Microwave Engineering, Wiley, 2012)

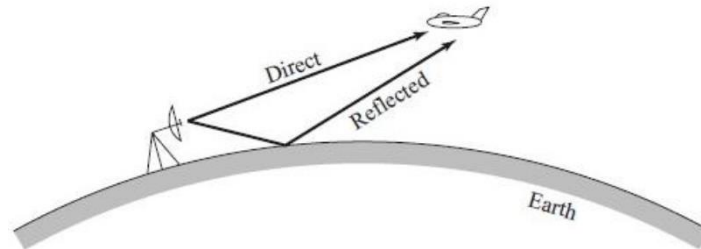


Figura 2.2. Onda directa y reflejada sobre la superficie terrestre

Fuente: (D. M. Pozar, Microwave Engineering, Wiley, 2012)

2.2.4. ANTENA

Las antenas son transductores que transfieren energía electromagnética entre la línea de transmisión y el espacio libre, según su aplicación contamos con antenas PTP y PMP, las PTP se caracterizan porque conectan solo a 2 lugares realizando un recorrido de varios kilómetros mientras que las PMP conectan dos o más ubicaciones en un recorrido de área más reducida, por el principio de reciprocidad una antena puede actuar como transmisora y como receptora, rigiéndose a través de las siguientes fórmulas que permiten conocer los niveles de energía con los que opera y atenuaciones a considerar. Una antena puede convertir las ondas electromagnéticas en energía eléctrica y, de este modo, actuar como receptora. También puede desarrollar el proceso inverso: convertir la electricidad en ondas electromagnéticas y funcionar como transmisora. De acuerdo a sus dimensiones y a otras características, las antenas pueden recibir o transmitir señales con diferente longitud de onda. La ubicación física de las antenas también incide en su funcionamiento.

Las principales características de una antena son:

- Patrón de Radiación
- Ganancia
- Directividad

- Ancho de Haz
- Apertura
- Polarización
- Altura Efectiva
- Impedancia

2.2.5. POLARIZACIÓN

Es una indicación de la orientación del vector de campo en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo, la polarización de una antena en una dirección es la de una onda radiada por ella en esa misma dirección, si la onda está polarizada correctamente con respecto a la antena entonces la densidad de potencia transmitida toma su valor máximo, existen 2 tipos de polarizaciones aplicada en campo, tenemos a la polarización vertical y polarización horizontal, la polarización vertical es cuando el campo eléctrico de la onda es perpendicular a la tierra y existe polarización horizontal cuando las líneas magnéticas son paralelas a la superficie de la tierra, la onda completa consiste en una interacción de energía de los dos campos de fuerza.

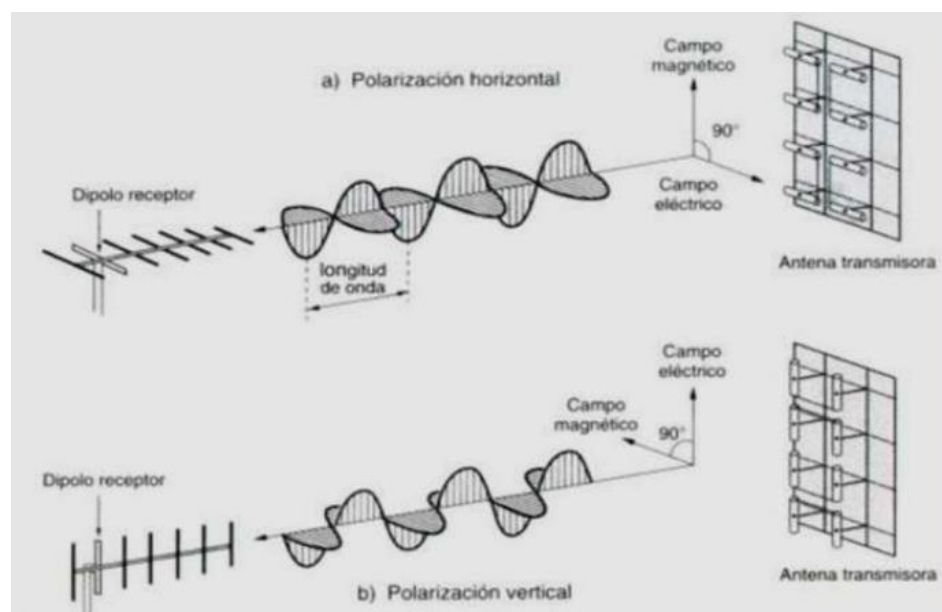


Figura 2.3. Polarización vertical y horizontal

Fuente: <https://es.slideshare.net/andresguzmanforero/antenas-polarizacion-vertical> (Andrés Guzmán Forero, 2018).

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

LOS: Line Of Sight.

INDECI: Instituto Nacional De Defensa Civil.

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

CEPLAN: Centro Nacional de Planeamiento Estratégico.

DNSE: Dirección Nacional de Seguimiento y evaluación.

SINPAD: Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación.

MIDIS: Ministerio de desarrollo e inclusión social.

2.4. MARCO REFERENCIAL

En la presente tesis se tomará en cuenta el siguiente marco Referencial:

- Decreto supremo N° 013-93-TCC ley general de las telecomunicaciones
- PNAF 2007, es el plan nacional de asignación de frecuencias.
- Censo INEI 2017, última encuesta Nacional de Hogares.
- Datos CEPLAN, último informe presentado en el año 2017.

2.5. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En el proyecto se considerarán las siguientes variables:

- Tipos de equipos a operar para el funcionamiento.
- Numero de nodos terminales, principal e intermedio.
- Número de Localidades a coberturar.
- Perfiles de los terrenos en las líneas de enlace.
- Cantidad de datos a transmitir.

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE Y DISEÑO

- Enfoque mixto: Cuantitativo- No experimental
Y Cualitativo- Estudios de casos

3.2. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN.

- Universo: Distrito Chota.
- Población: centros poblados y caseríos.

3.3. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

Los pasos que se seguirán en el desarrollo de la investigación, en cumplimiento de los objetivos específicos, son los siguientes:

- Recolección de información de cantidad de población y los niveles de pobreza del distrito de chota (INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática).
- Recolección de información de las localidades declaradas en emergencia con múltiples necesidades y devastaciones una fuerte sequía, acompañada de heladas, provocando una fuerte insolación por el día y fríos intensos por las noches y madrugadas (Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD).
- Recolección de información respecto a los perfiles, relieves y altitud de los terrenos para determinar las áreas candidatas para la ubicación de los nodos. (Google Earth).
- Recolección de información de las localidades declaradas en emergencia afectadas por las intensas lluvias que en las últimas semanas han dejado miles de afectados y cientos de viviendas dañadas (Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI).

- Recolección de información de los equipos idóneos para que puedan operar con total normalidad en esta zona norte del Perú y que estén disponibles en un software de simulación para poder determinar si existe comunicación entre nodos (LINK PLANER y RADIO MOBILE).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

- Técnicas de muestreo: Simple. Se seleccionará un grupo de localidades del distrito de Chota que cuenten con mayor necesidad y carencias de acuerdo con los Objetivos del Proyecto.
- Técnicas de recolección de datos: De gabinete. Todo el estudio se realizará en gabinete usando la información proporcionada por Instituciones Públicas y base de datos online.
- Instrumentos de recolección de datos: Revisión de información estadística de portales gubernamentales: INEI, INDECI, MIDIS, CEPLAN, SINPAD, DNSE, entre otros.
- De análisis: Análisis estadístico y tecnológico con Excel, Google Earth y Software LINK PLANER y RADIO MOBILE.
- Confiabilidad y validez de los instrumentos: La información es proporcionada por entes gubernamentales. Dicha información es confiable y válida, y por tanto no se requiere validación de algún especialista externo.

3.5. ASPECTOS ÉTICOS

Para el desarrollo de la Tesis se seguirán los principios éticos de acuerdo con el marco legal vigente de la Universidad Nacional de Piura y los entes administrativos nacionales correspondientes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Situación actual y elección de los pueblos a coberturar en la provincia de Chota

4.1.1. Provincia de Chota

A continuación, se detalla una reseña histórica de la creación de la provincia de Chota.

La capital de esta provincia es el distrito de Chota, quien forma parte de los 19 distritos de esta provincia, ubicada en el departamento de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno regional de Cajamarca, ubicado en la parte Norte central del Perú. Limita por el norte con los distritos de Chiguirip y Conchán; por el oeste con el distrito de Lajas; por el sur con el Distrito de Bambamarca, capital de Hualgayoc; y, por el este con el Distrito de Chalamarca.

En la historia pre incaica de Chota se nota con bastante precisión influencia Chavín primero y Mochica después, Cabello de Balboa en su “Miscelánea Austral” cita a Naylamp, calificado como “Hombre de gran talento y gran valor”, y a su dios Chota, con expresa mención de la meseta Acunta y a uno de sus descendientes que llevó también este nombre. En esas condiciones de pueblo rebelde y desordenado lo encuentra la conquista española.

Durante la guerra con Chile, después de la batalla de San Pablo, ingresaron los araucanos a Chota, el pueblo decidió envenenar las aguas del Colpamayo, los chilenos ordenaron el incendio de Chota, El 29 de agosto de 1882, la ciudad de chota fue incendiada por las tropas chilenas y en represalia por la derrota que sufrieron en San Pablo y al considerarla como el cuartel del norte. Miles de casas cayeron, la iglesia también fue incendiada, salvándose la Imagen de la Patrona, María Inmaculada, cuyo dogma fue proclamado el día 8 de diciembre.

La ciudad de Chota (tierra de Acunta) se remonta a la época preincaica e incaica, perteneció al corregimiento de los Huambos en 1777, fue fundado el 1° de noviembre de 1559 y se reconocía con el nombre de “Todos los Santos”. La proclamación de la independencia de Chota, fue el 12 de enero de 1821, por el alcalde Sr. Inocencio Consanchillón, el 6 de febrero de 1821, recibe el

nombre de provincia según el señor Horacio Villanueva en el estatuto provisional dado por José de San Martín durante el protectorado.

La imagen de la Virgen Patrona de Chota es de cedro y de estilo barroco y con las características de las imágenes de montañés, mide 1.65m.

Está íntimamente ligada a la fundación y a la historia de Chota en general.

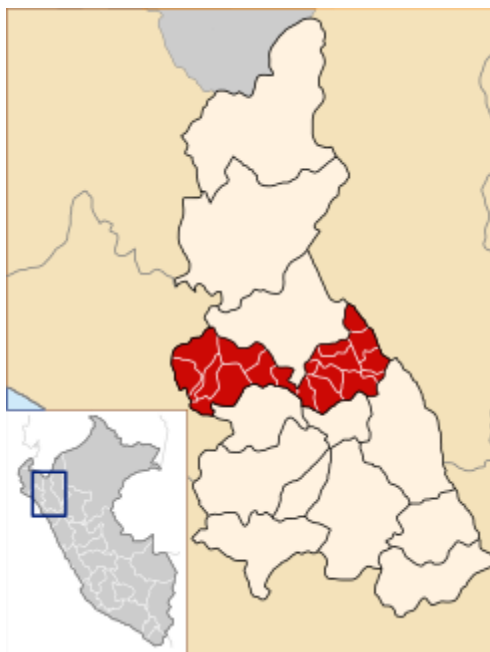


Figura 4.1. Mapa de la provincia de Chota

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Chota#/media/Archivo:Location_of_the_province_Chota_in_Cajamarca.svg

Se encuentra ubicado en la parte central de la provincia, en la región andina norte del Perú. Su capital se encuentra en la meseta de Acunta a 2,388 msnm y a 150 Km al norte de Cajamarca o a 219 Km al este de Chiclayo, Lambayeque.

4.1.2. Elección de pueblos a coberturar

Teniendo como primera consideración los porcentajes de pobreza hallados en la última encuesta realizada por el Instituto Nacional De Estadística e Informática (INEI) en el año 2017 revelo que en el distrito de Chota se

encuentran en calidad de pobres 61.25% y un 29.4% en calidad de extrema pobreza, y por consiguiente los problemas climáticos que se presentan por el relieve de la zona que vienen pereciendo varias localidades del distrito de Chota, con los cuales un sistema de comunicación sería muy beneficioso, los distritos y centros poblados a beneficiar serían:

- Sivigan Bajo -Sivigan Alto -Chuyabamba
- Chulit Alto

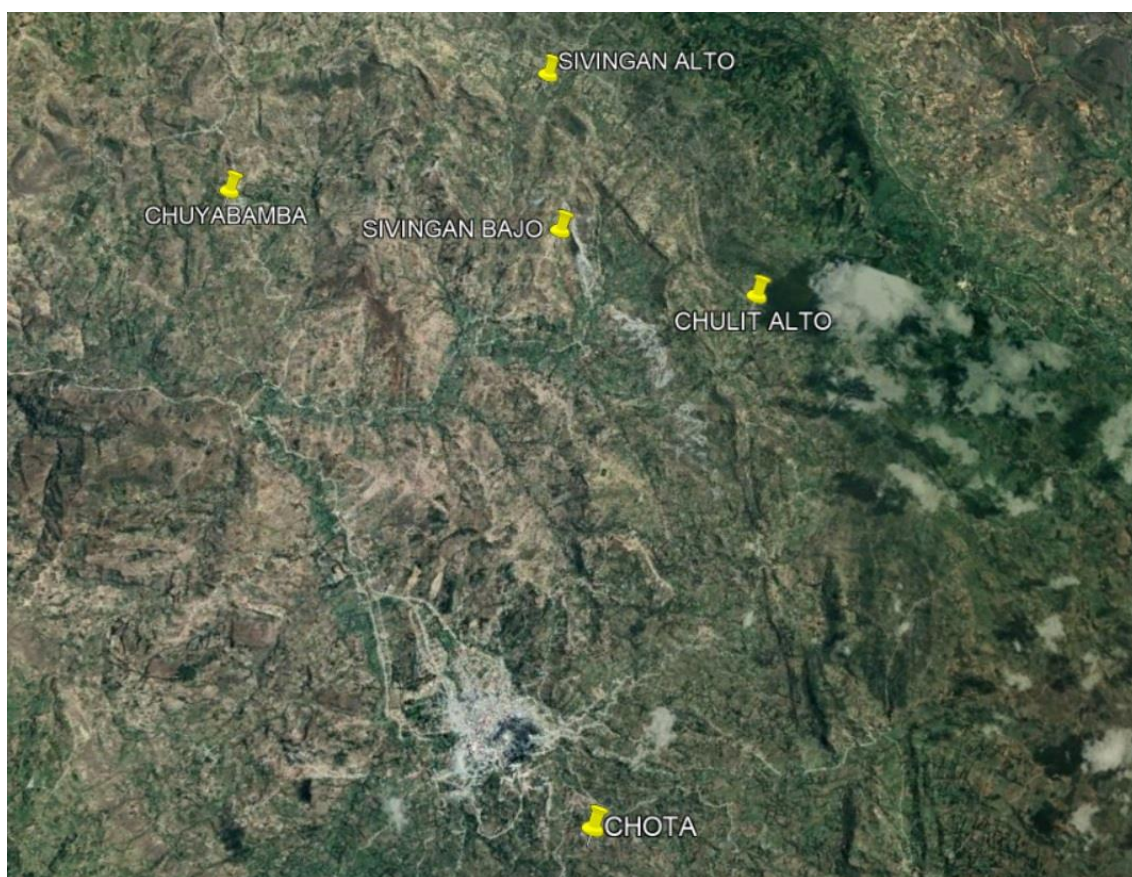


Figura 4.2. Ubicación de los pueblos beneficiarios.
Fuente: Propia/Software google earth

4.2. Diseño del sistema de comunicación

4.2.1. Ubicación de los nodos

4.2.1.1. Ubicación del nodo Principal

-NODO CHOTA: El nodo Chota es el nodo principal del sistema de comunicaciones, se encuentra a 2 Km de la plaza principal de este distrito. Las coordenadas de ubicación son, latitud: -6.568411° S y longitud -78.63403° W.

4.2.1.2. Ubicación nodo intermedio

-NODO SIVINGAN BAJO: El nodo Sivingan Bajo es un nodo intermedio quien tiene comunicación con el resto de nodos.

La coordenada de su ubicación definida es, latitud: -6.506061° S y longitud -78.67054° W.

4.2.1.3. Ubicación de nodos terminales

-NODO SIVINGAN ALTO: El nodo Sivingan Alto es un nodo terminal, este se encuentra a 2.31 Km del nodo intermedio.

La coordenada de su ubicación definida es, latitud: -6.488289° S y longitud -78.68137° W.

-NODO CHUYABAMBA: El nodo Chuyabamba es un nodo terminal, este se encuentra ubicada a 4.62 Km del nodo intermedio.

La coordenada de su ubicación definida es, latitud: -6.519439° S y longitud -78.7102° W.

-NODO CHULIT ALTO: El nodo Chulit Alto es un nodo terminal, este se ubicó a 2.86 Km del nodo intermedio.

La coordenada de su ubicación definida es, latitud: -6.50383° S y longitud -78.64474° W.

Este sistema de comunicación está determinado por un nodo Principal, un intermedio y tres nodos terminales siendo un total de 5 estaciones mostradas en la siguiente imagen.

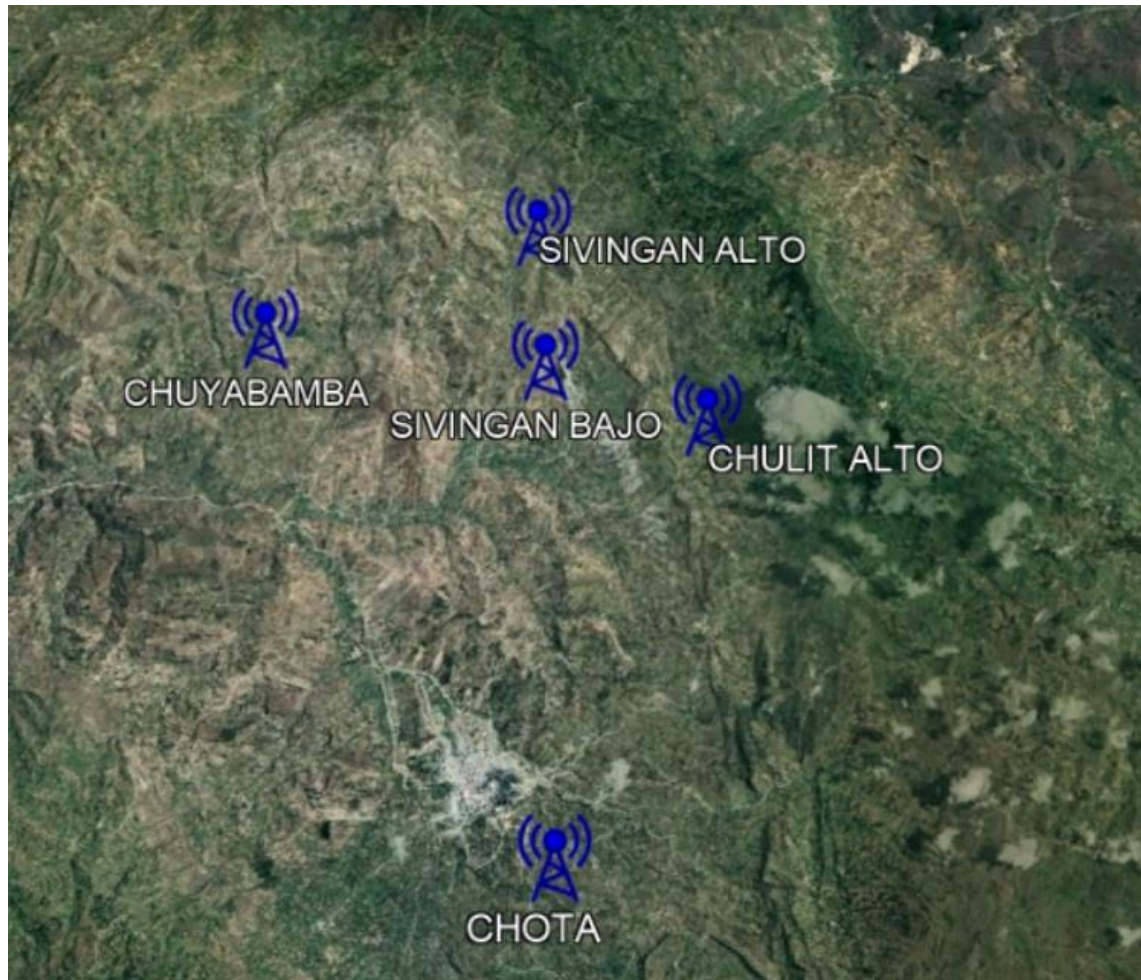


Figura 4.3. Distribución del sistema de comunicaciones.

Fuente: Propia/Software Google Earth

4.2.2. Diseño de radio enlaces entre nodos (PTP -point to point)

Este sistema está conformado por 4 enlaces PTP (punto a punto), caracterizándose por tener un nodo central, un nodo intermedio quien enlazó con los tres nodos terminales.

El dimensionamiento de la velocidad de transmisión (Throughput -Mbps) en la red PTP del clúster queda definido de la siguiente manera:

- Nodo Sivingan Bajo [26Mbps] -Nodo Sivingan Alto [52Mbps]
- Nodo Chuyabamba [52Mbps] -Nodo Chulit Alto [52Mbps]

Se debe tener en cuenta que el enlace del nodo chota (principal) al nodo Sivingan Bajo(intermedio) es quien transportó todo el Throughput, por lo que debe tener capacidad para transmitir mínimo 182 (26+52+52+52) Mbps. Hecho esto desde el nodo intermedio se distribuyó el servicio a los nodos finales según el dimensionamiento de la velocidad de transmisión. A continuación, indicaremos las coordenadas de las estaciones/nodos.

4.2.2.1. Nodo CHOTA a nodo SIVINGAN BAJO.

	CHOTA			SIVINGAN BAJO		
	grados	Minutos	Segundos	grados	minutos	Segundos
Latitud sur	06	34	06.3	06	30	21.8
Longitud oeste	078	38	02.5	078	40	13.9
Altitud	2541 m.s.n.m			2440.9 m.s.n.m		
Elevación	-0.681616 ⁰			0.599495 ⁰		
Azimut	329.8 ⁰			149.8 ⁰		

Tabla 4.1. Estación Chota a Estación Sivingan Bajo.
Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.2. Nodo SIVINGAN BAJO a nodo SIVINGAN ALTO.

	SIVINGAN BAJO			SIVINGAN ALTO		
	grados	Minutos	Segundos	grados	minutos	Segundos
Latitud sur	06	30	21.8	06	29	17.8
Longitud oeste	078	40	13.9	078	40	52.9
Altitud	2440.9 m.s.n.m			2620.5 m.s.n.m		
Elevación	4.308229 ⁰			-4.329003 ⁰		
Azimut	328.8 ⁰			148.8 ⁰		

Tabla 4.2. Estación Sivingan Bajo a Sivingan Alto.
Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.3. Nodo SIVINGAN BAJO a nodo CHUYABAMBA.

	SIVINGAN BAJO			CHUYABAMBA		
	grados	Minutos	Segundos	grados	minutos	Segundos

Latitud sur	06	30	21.8	06	31	10.0
Longitud oeste	078	40	13.9	078	42	36.7
Altitud	2440.9 m.s.n.m			2422.9 m.s.n.m		
Elevación	-0.274672^0			0.233061^0		
Azimut	251.2^0			71.2^0		

Tabla 4.3. Estación Sivingan Bajo a Estación Chuyabamba.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.4. Nodo SIVINGAN BAJO a nodo CHULIT ALTO.

	SIVINGAN BAJO			CHULIT ALTO		
	grados	Minutos	Segundos	grados	minutos	Segun dos
Latitud sur	06	30	21.8	06	30	13.8
Longitud oeste	078	40	13.9	078	38	41.1
Altitud	2440.9 m.s.n.m			2606.4 m.s.n.m		
Elevación	3.269296^0			-3.295022^0		
Azimut	85.0^0			265.0^0		

Tabla 4.4. Estación Sivingan Bajo a Estación Chulit Alto.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra el diseño de los 4 enlaces PTP'S.

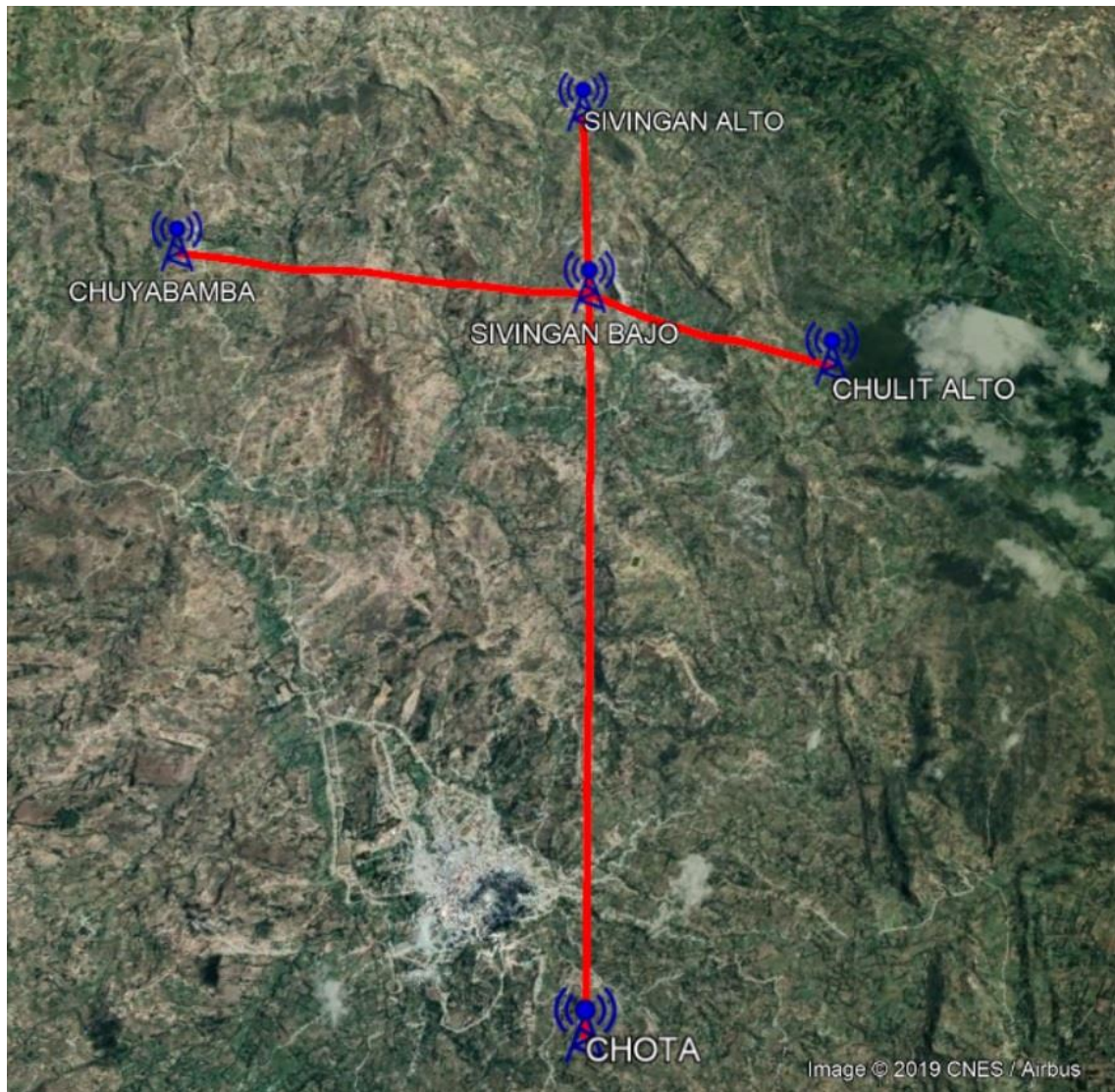


Figura 4.4. Diseño de los enlaces Point to Point (PTP).

Fuente: Elaboración propia en Google Earth

Los enlaces entre nodos son simulados en el Software Radio Mobile considerando todos los criterios a tener en cuenta como el Margen Fading, niveles de throughput requeridos, buena confiabilidad y parámetros adecuados de los equipos.

Enlace entre nodos visto desde Radio Mobile.

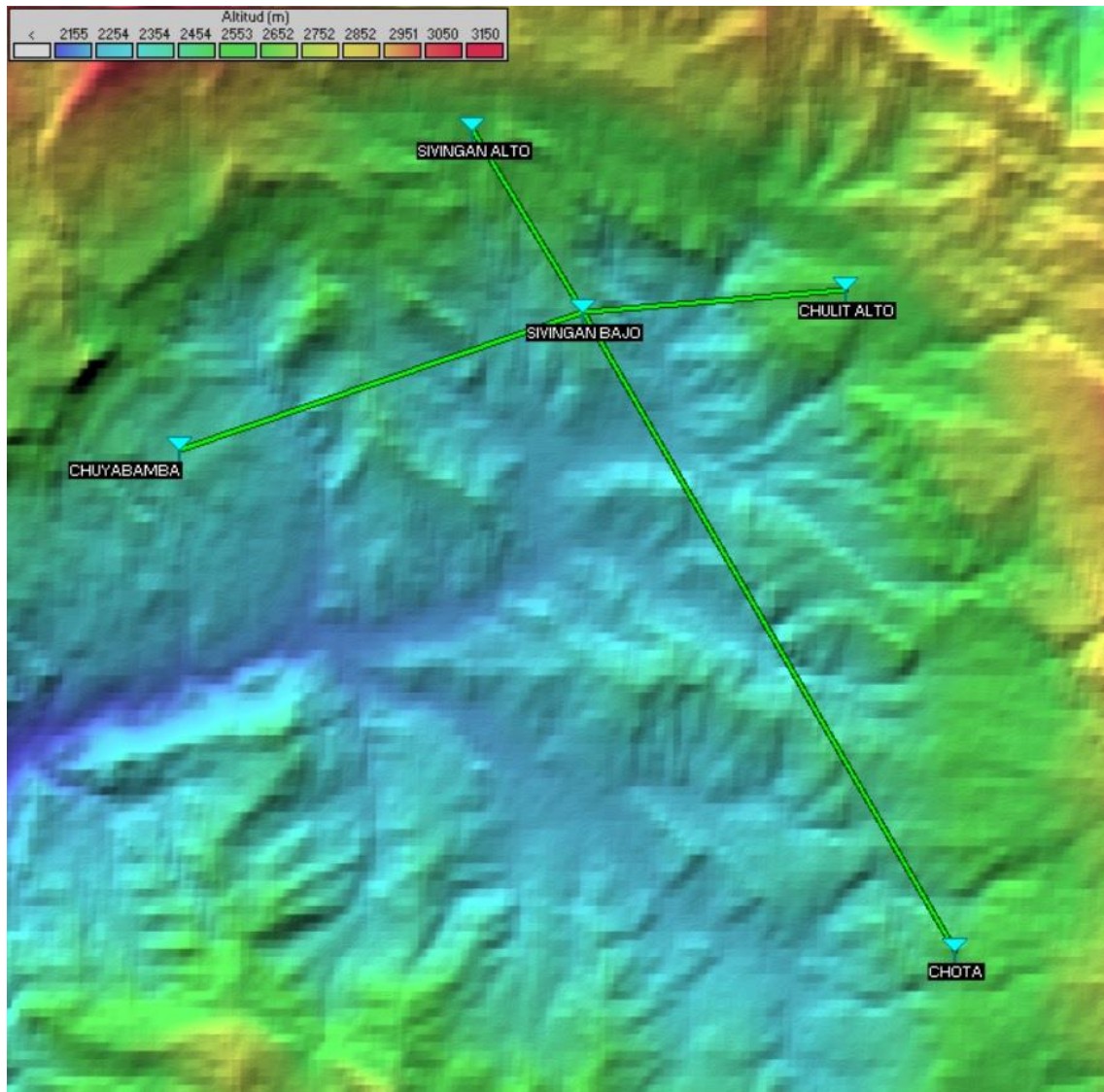


Figura 4.5. Diseño de los enlaces Point to Point (PTP).
Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

4.2.3. Diseño de los radioenlaces de nodo a estaciones internas (Point multipoint)

El objetivo principal de este proyecto fue implementar un servicio de internet a los centros poblados y distritos de la zona, teniendo en consideración la importancia de las comunicaciones de hoy en día, para que estos tengan un desarrollo positivo y mejor calidad de vida por lo tanto se ha aplicado una solución utilizando equipos Epmp1000 Hotspot (cobertura – 180m de radio) quienes brindaron la cobertura con el servicio Wifi a los distritos involucrados en el sistema de comunicaciones; para el caso de Sivingan Alto el Epmp Hotspot brinda el servicio ubicado en el mismo nodo por ser el lugar de más idóneo y de mayor cobertura en el distrito, mientras que en Sivingan Alto, Chuyabamba y Chulit Alto quienes son de mayor distancia se destinaron la aplicación de 2 Epmp Hotspot para cada zona, siendo estos ubicados en estaciones internas para llegar a la mayor parte de la población, luego para simular el enlace que existe entre el nodo y los puntos estratégicos hacemos uso del software Link Planer que nos facilitó la simulación de los enlaces Punto-Multipunto ayudándonos con las herramientas necesarias para este tipo de enlaces para el desarrollo de este proyecto.

4.2.3.1. Estación interna – Nodo Sivingan Bajo

En esta localidad se ubicó un Epmp Hotspot que cuenta con un radio de cobertura de 180m de servicio wifi. El Epmp Hotspot se situó donde se encuentra el nodo en vista a que desde esta ubicación puede llegar a toda la población, se muestra la información detallada a continuación:

- Estación interna 1: (Ubicada en el mismo nodo principal)

Coordenadas de ubicación: -6.506061° S / -78.67054° W



Figura 4.6. Radio de cobertura (180m) de la estación interna 1 - Sivingan Bajo.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth

4.2.3.2. Estaciones internas – Nodo Sivingan Alto

En la localidad de Sivingan Alto se ubicaron 2 Epmp1000 Hotspot, cada uno cuenta con una radio de cobertura de 180m.

La estación interna 1 se ubicó a 2600m del nodo principal y la estación interna 2 se ubicó a 420 m.

- Estación interna 1: (Ubicada estratégicamente al centro de la población)

Coordenadas de ubicación: -6.486019° S / -78.68194° W

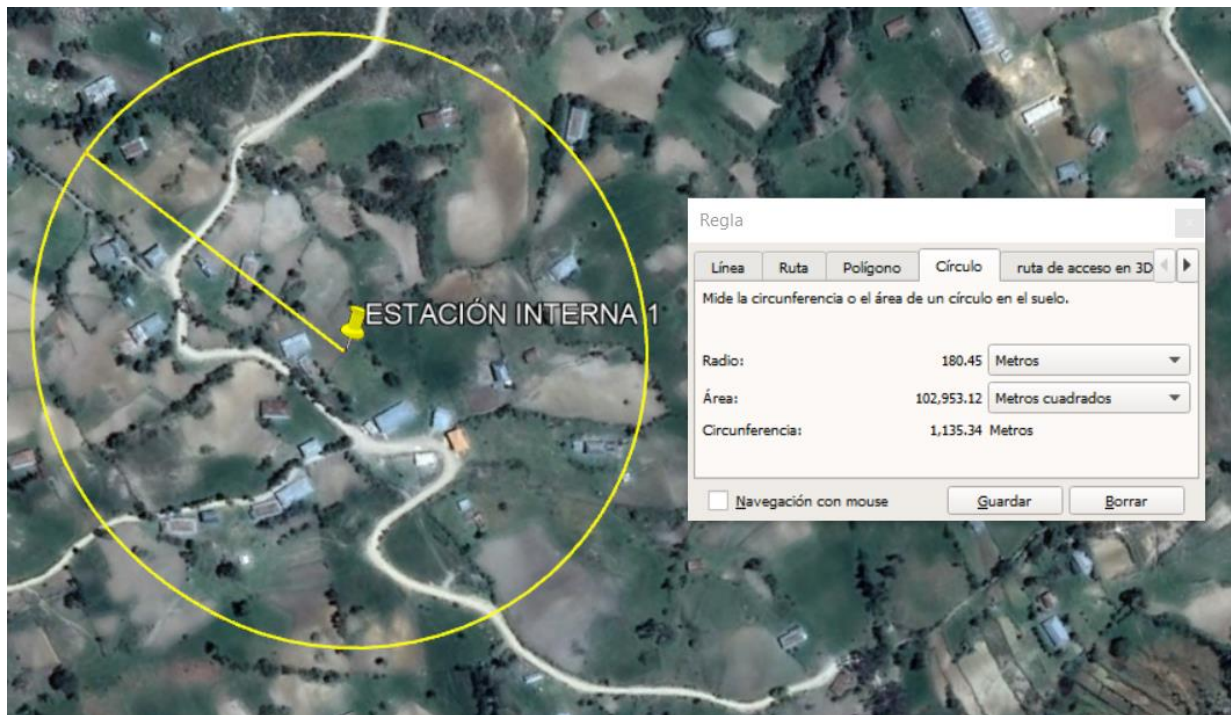


Figura 4.7. Radio de cobertura (180m) de la estación interna 1 - Sivingan Alto.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth

- Estación interna 2:

Coordenadas de ubicación: -6.491825° S / -78.68014° W

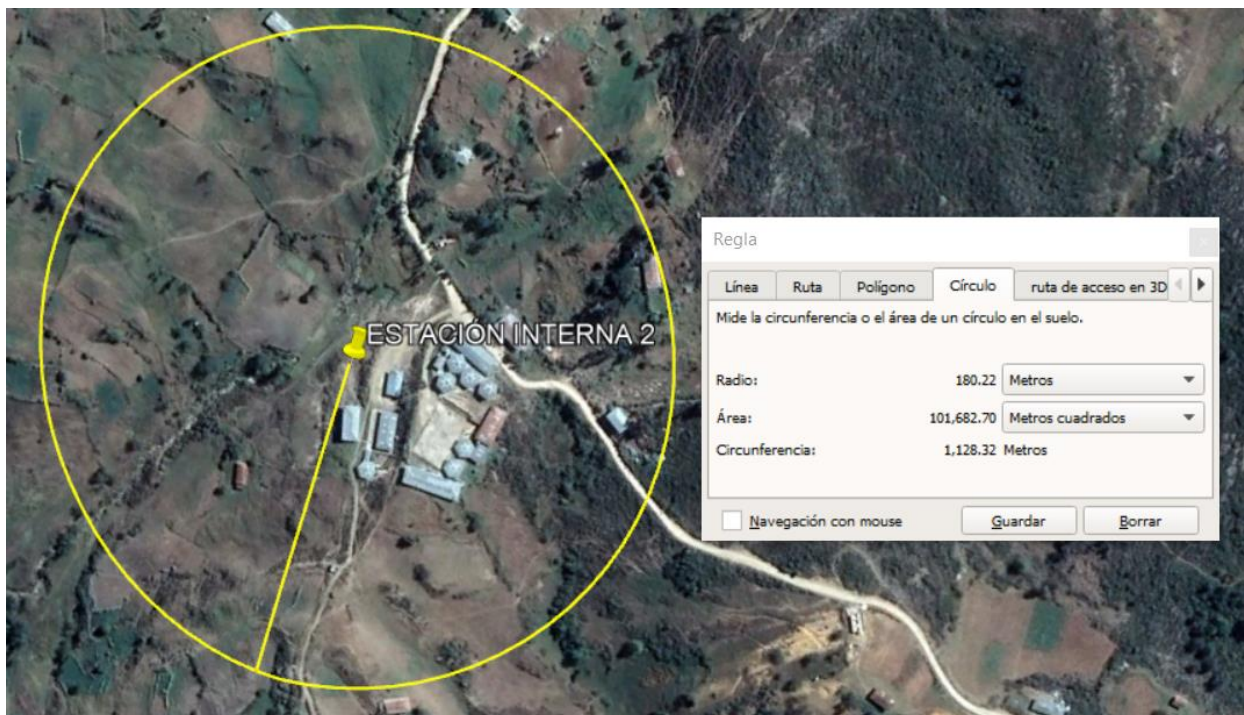


Figura 4.8. Radio de cobertura (180m) de la estación interna 2 - Sivingan Alto.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth

Se muestra los radios de cobertura de servicio Wifi que tiene la localidad de Sivingan Alto a través de las 2 estaciones internas aplicando los equipos Epmp1000 Hotspot.

Estaciones internas de la localidad de Sivingan Alto

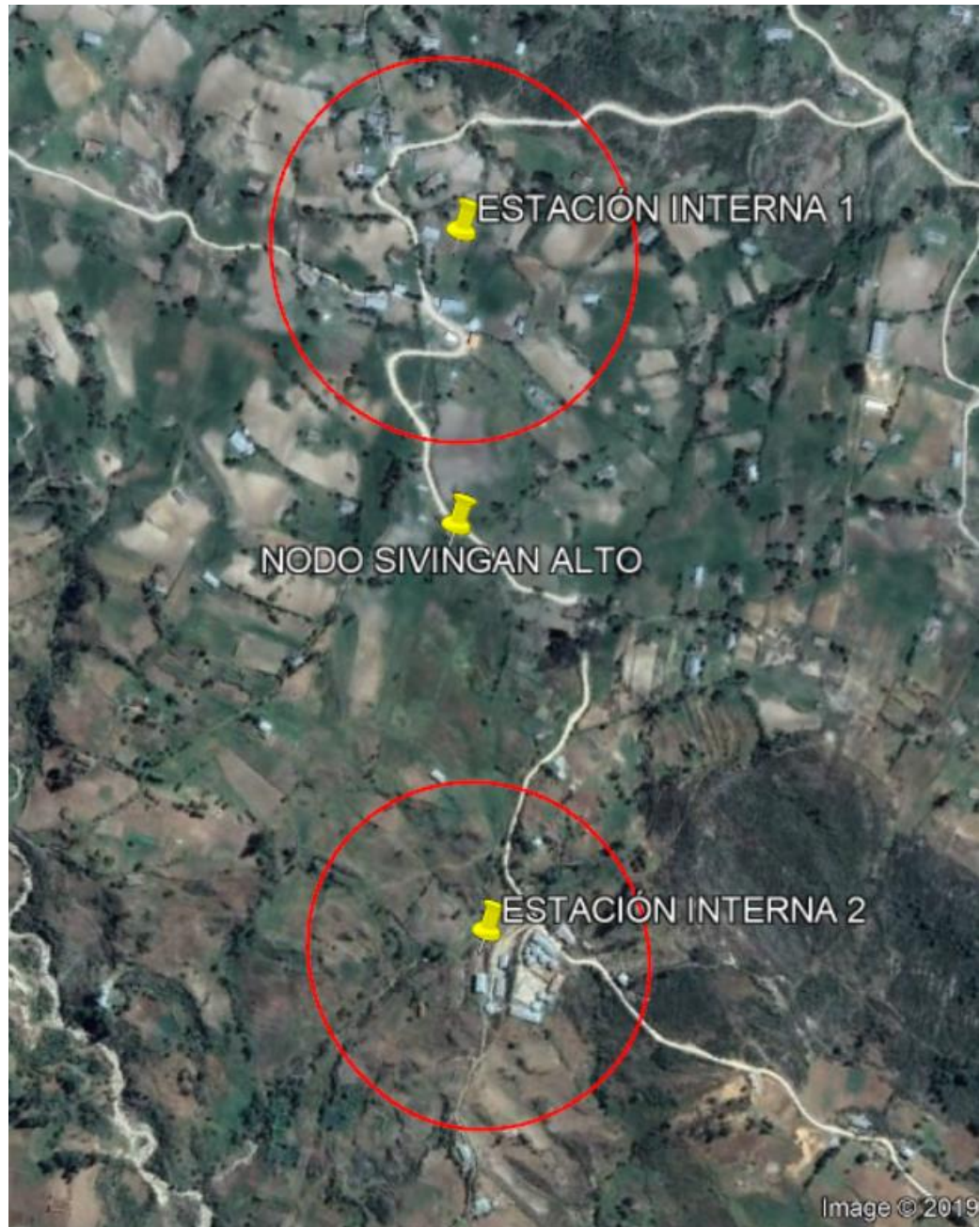


Figura 4.9. Radio de cobertura de las dos estaciones internas en Sivingan Alto.
Fuente: Propia/Google Earth

4.2.3.3. Estación interna – Nodo CHUYABAMBA

En la localidad de Chuyabamba se ubicaron 2 Epmmp1000 Hotspot, cada uno cuenta con una radio de cobertura de 180m.

La estación interna 1 se ubicó a 270 m del nodo de esta localidad y la estación interna 2 se ubicó a 300 m.

A continuación, se muestra el radio de cobertura que propaga la estación interna 1 de Chuyabamba.

Estación interna 1: -6.517087°S / -78.70949° W



Figura 4.10. Radio de cobertura de la estación interna 1- Chuyabamba.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth

Estación interna 2: -6.519856 °S / -78.70755 °W

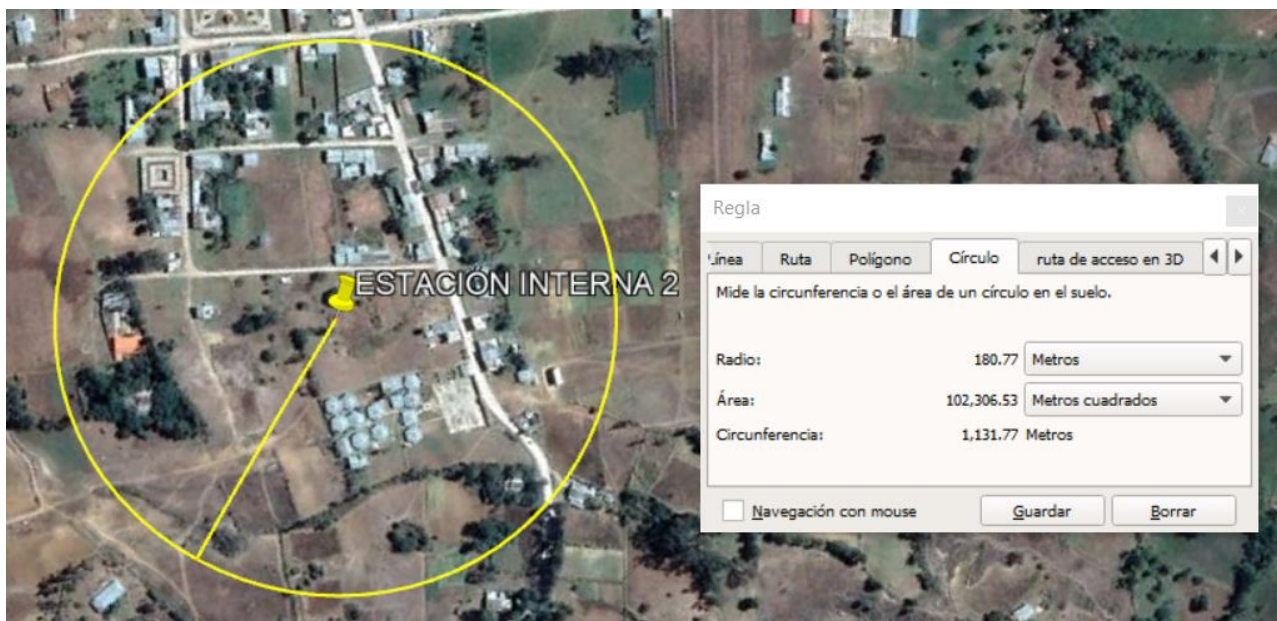


Figura 4.11. Radio de cobertura de la estación interna 2 - Chuyabamba.
Fuente: Elaboración propia en Google Earth

Se muestra los radios de cobertura de servicio Wifi que tiene la localidad de Chuyabamba.

Estaciones internas del distrito de Chuyabamba



Figura 4.12. Radio de cobertura de las dos estaciones internas de Chuyabamba.
Fuente: Propia/Google Earth.

4.2.3.4. Estación interna – Nodo Chulit Alto

En la localidad de Chulit Alto se ubicaron 2 Epmp1000 Hotspot, cada uno cuenta con un radio de cobertura de 180m.

La estación interna 1 se ubicó a 179 m del nodo Chulit Alto y la estación interna 2 se ubicó a 240 m.

A continuación, se muestra el radio de cobertura que se tiene el nodo Chulit Alto.

Estación interna 1: -6.503191°S / -78.64622° W

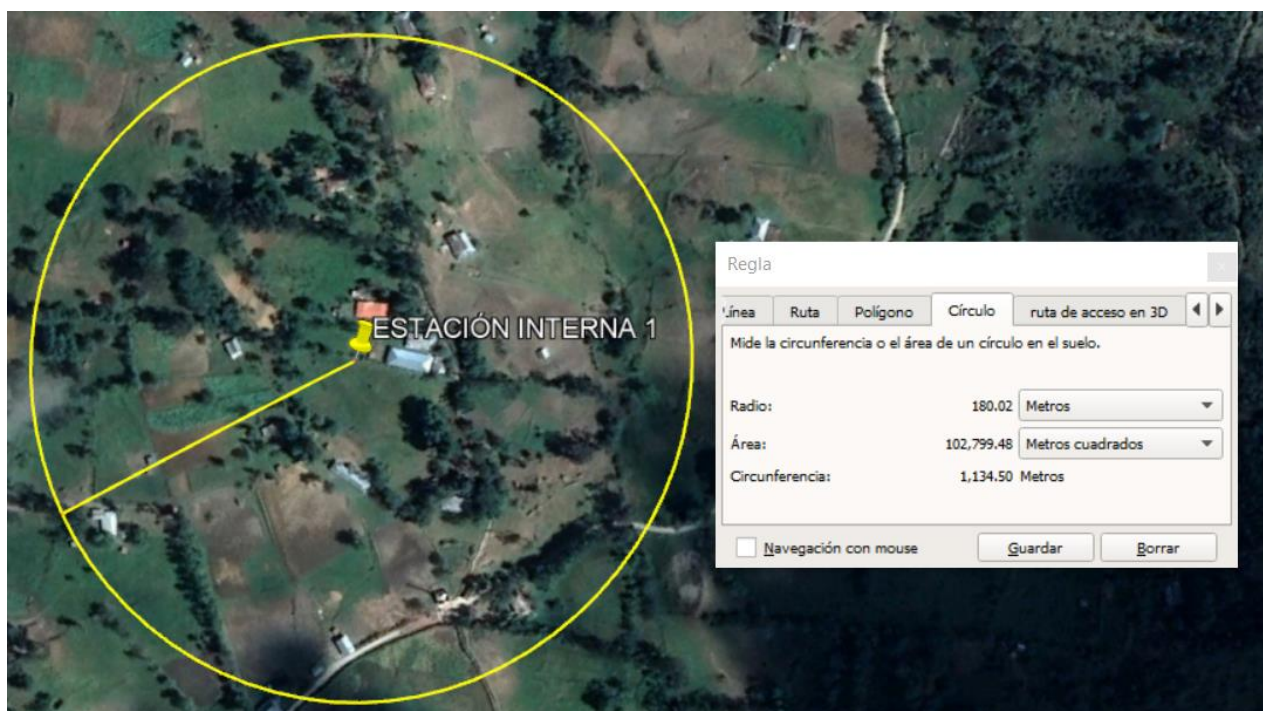


Figura 4.13. Radio de cobertura de estación interna 1 – Chulit Alto.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth

Estación interna 2: -6.504994 °S / -78.64296 ° W



Figura 4.14. Radio de cobertura de estación interna 2 – Chulit Alto.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth

A continuación, se muestra los radios de cobertura que servicio Wifi que tiene la localidad de Chulit Alto.

Estaciones internas de la localidad Chulit Alto.

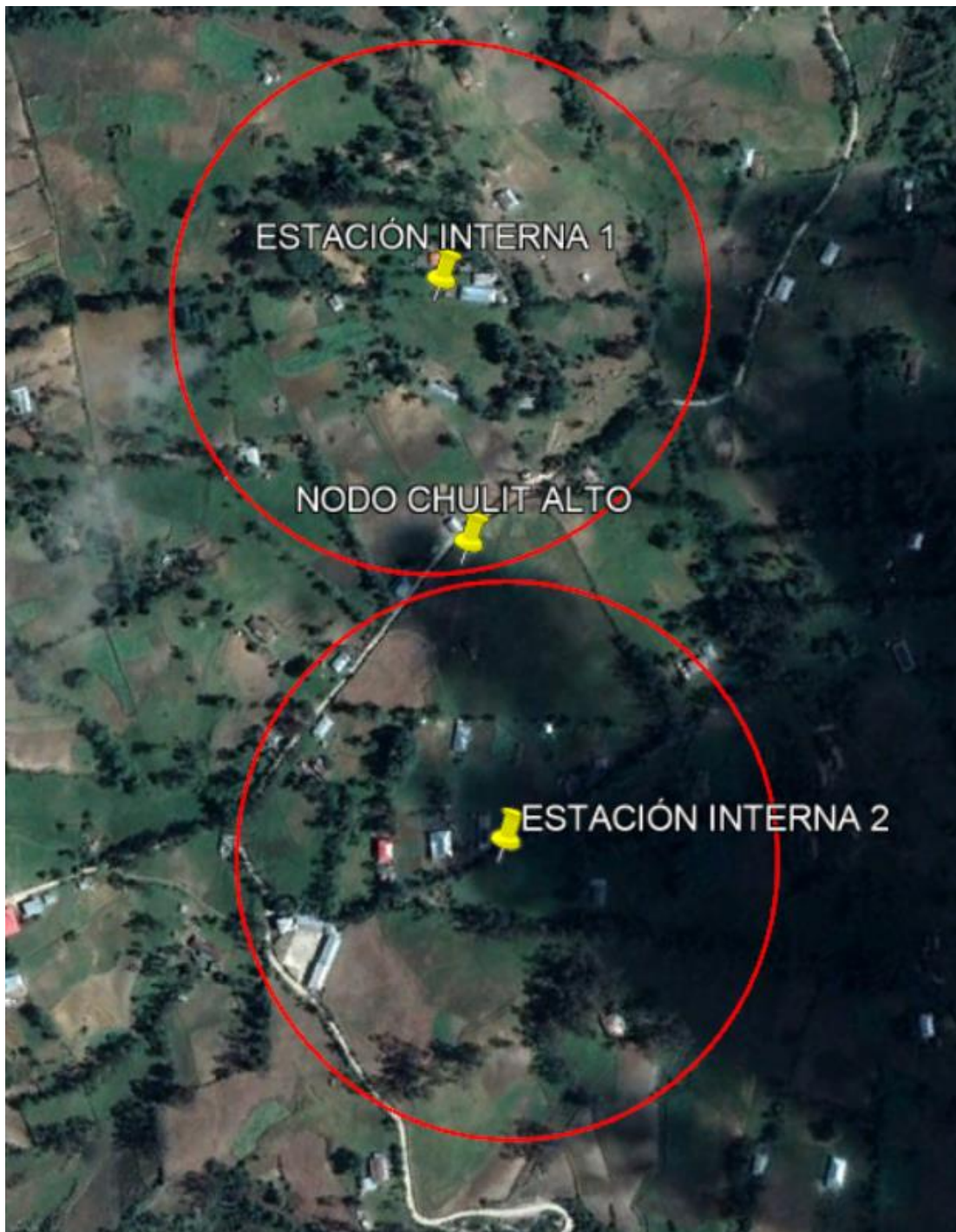


Figura 4.15. Radio de cobertura de las dos estaciones internas en Chuyabamba.
Fuente: Propia/Google Earth.

En la siguiente imagen se muestra los enlaces PMP que existen en todo el clúster de telecomunicaciones, siendo un total de 6 enlaces PMPs, distribuidos en dos por localidad (Sivingan Alto, Chuyabamba y Chulit Alto); como ya se sabe por lo mencionado anteriormente para el caso de la localidad de Sivingan Bajo no se requiere de una estación interna por lo que no existe ningún enlace PMP.

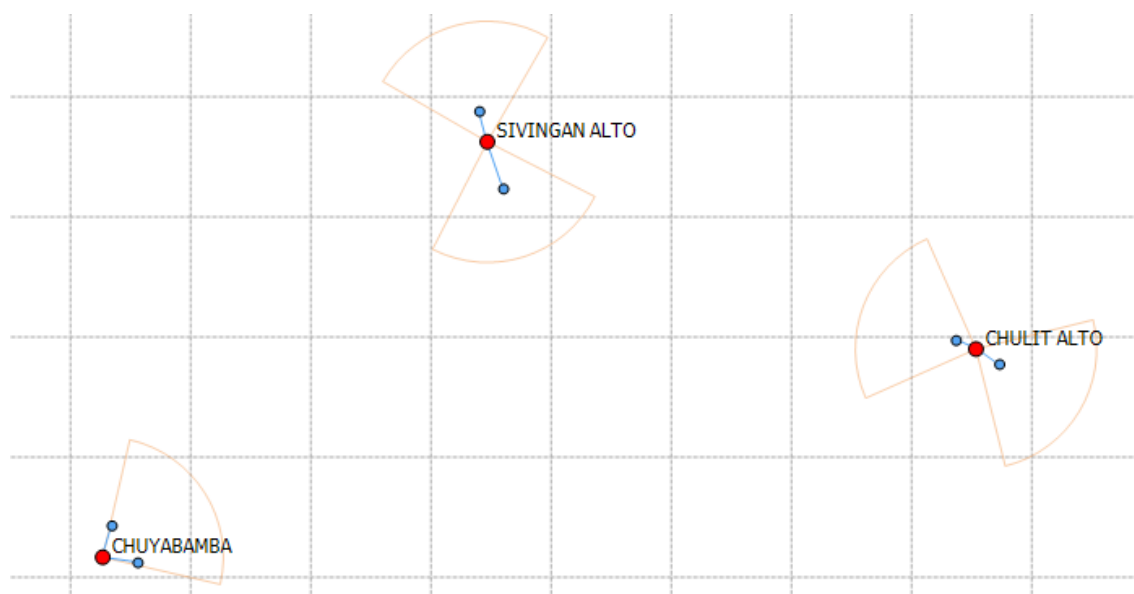


Figura 4.16. Diseño de los enlaces Point Multipoint en el sistema de comunicaciones (PMP).

Fuente: Elaboración propia en software Link Planer

4.2.4. Desarrollo y simulación de radioenlaces

En el diseño, se realizaron los cálculos teóricos tanto para los enlaces punto a punto (entre nodos) y los enlaces punto multipunto (aplica para nodos de Sivingan Alto, Chuyabamba y Chulit Alto), hecho esto se muestran sus respectivas simulaciones en los softwar's Radio Mobile (para enlaces PTP) y Link Planer (para enlaces PMP).

4.2.4.1 Enlace nodo CHOTA a nodo SIVINGAN BAJO

El nodo CHOTA es el nodo principal que enlaza al nodo SIVINGAN BAJO, este enlace tiene una distancia de 8.02Km, a continuación, se realizaron los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d)[\text{db}] , F [\text{Mhz}], d [\text{Km}]$$
$$F = 5400 \text{ MHz} \quad d = 8.02 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205400 \times 8.02)[\text{dB}]$$
$$A_{EL} = 125.23 \text{ db}$$

Potencia de recepción: Aplicamos la fórmula para el cálculo de la potencia de recepción dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 23 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 38.4 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 118.34 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 38.3 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -29.63 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda: se asignó un ancho de banda de 20 MHz a este enlace.

Tasa de Modulación: El equipo "PTP 670" de la marca **Cambium Networks** posee 13 modulaciones digitales divididas en dos tipos (single y dual), asimismo opera en la banda de 4.9 a 6.05 GHz, continuación en la primera

tabla se muestra los niveles de potencia de transmisión y sensibilidad para un tipo de modulación aplicada en un determinado ancho de banda, seguidamente se muestra una segunda tabla quien indica la cantidad de throughput para un respectivo ancho de banda y nivel de modulación.

Este enlace debe tener una modulación quien mínimo asegure una velocidad de transmisión de 182Mbps.

SPECIFICATION SHEET: PTP670

RECEIVER SENSITVY AND TRANSMIT POWER dbm								Transmit Power (dBm)
	Channel Size							
Modulation Mode	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz	
BPSK 0.63 Single	-96.8	-94.8	-93.0	-91.8	-90.0	-88.8	-88.3	27
QPSK 0.63 Single	-93.7	-91.7	-89.9	-88.7	-86.9	-85.7	-85.2	26
QPSK 0.87 Dual	-89.7	-87.7	-85.9	-84.7	-82.9	-81.7	-81.1	26
16QAM 0.63 Single	-87.4	-85.4	-83.6	-82.3	-80.6	-79.3	-78.8	25
16QAM 0.63 Dual	-83.4	-81.4	-79.6	-78.4	-76.6	-75.4	-74.9	25
16QAM 0.87 Single	-82.9	-80.8	-79.1	-77.8	-76.1	-74.8	-74.3	25
16QAM 0.87 Dual	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	25
64QAM 0.75 Single	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	24
64QAM 0.75 Dual	-76.7	-74.7	-72.9	-71.6	-69.9	-68.6	-68.1	24
64QAM 0.92 Single	-75.8	-73.8	-72.1	-70.8	-69.1	-67.8	-67.3	24
64QAM 0.92 Dual	-72.5	-70.5	-68.8	-67.5	-65.8	-64.5	-64.0	24
256QAM 0.81 Single	-72.5	-70.5	-68.7	-67.4	-65.7	-64.4	-63.9	23
256QAM 0.81 Dual	-68.8	-66.8	-65.0	-63.8	-62.0	-60.8	-60.3	23

Figura 4.17. Características y Esquemas de Modulación- “PTP 670” Cambium Networks.
Fuente: SPECIFICATION SHEET: PTP670

En este enlace se ha operado con la modulación **256 QAM DUAL (0.81)**.

THROUGHPUT (MBPS)							
Modulation Mode	Channel Size						
	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz
BPSK 0.63 Single	2.3	4.8	7.2	9.6	14.5	19.9	21.8
QPSK 0.63 Single	4.7	9.6	14.5	19.3	29.1	39.7	43.5
QPSK 0.87 Single	6.5	13.4	20.2	26.8	40.5	55.2	60.5
16QAM 0.63 Single	6.5	13.4	20.2	26.8	40.5	55.3	60.6
16QAM 0.87 Single	9.3	19.3	29.0	38.5	58.2	79.5	87.1
64QAM 0.75 Single	12.1	25.1	37.7	50.0	75.6	103.2	113.1
64QAM 0.92 Single	16.7	34.5	51.9	68.9	104.1	142.1	155.7
256QAM 0.81 Single	24.2	50.1	75.4	100.1	151.1	206.3	226.1
16QAM 0.63 Dual	13.0	26.8	40.4	53.6	80.9	110.5	121.1
16QAM 0.87 Dual	18.6	38.6	58.0	77.0	116.4	158.9	174.1
64QAM 0.75 Dual	24.2	50.1	75.4	100.0	151.1	206.3	226.1
64QAM 0.92 Dual	33.3	69.0	103.8	137.8	208.1	284.1	311.3
256QAM 0.81 Dual	48.4	100.2	150.7	200.1	302.2	412.6	452.2

Figura 4.18. Esquema en Mbps - “PTP 670” Cambium Networks
Fuente: SPECIFICATION SHEET: PTP670

Margen de desvanecimiento (Fading Margin):

El valor de la sensibilidad (potencia umbral) según el esquema de modulación **256 QAM 0.81 DUAL** es de -63.8dbm y la potencia de recepción ya calculada es: $P_n = -29.63\text{dbm}$, hacemos uso de la fórmula para calcular el margen de desvanecimiento.

$$FM = P_n - P_u \text{ [db]}$$

$$FM = -29.43 - (-63.8)$$

$$FM = 34.37 \text{ dB}$$

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Chota:
 - Altura de torre: 18m
 - Altura de antena: 15m
- Nodo Sivingan bajo:
 - Altura de torre: 18m
 - Altura de Antena: 15m

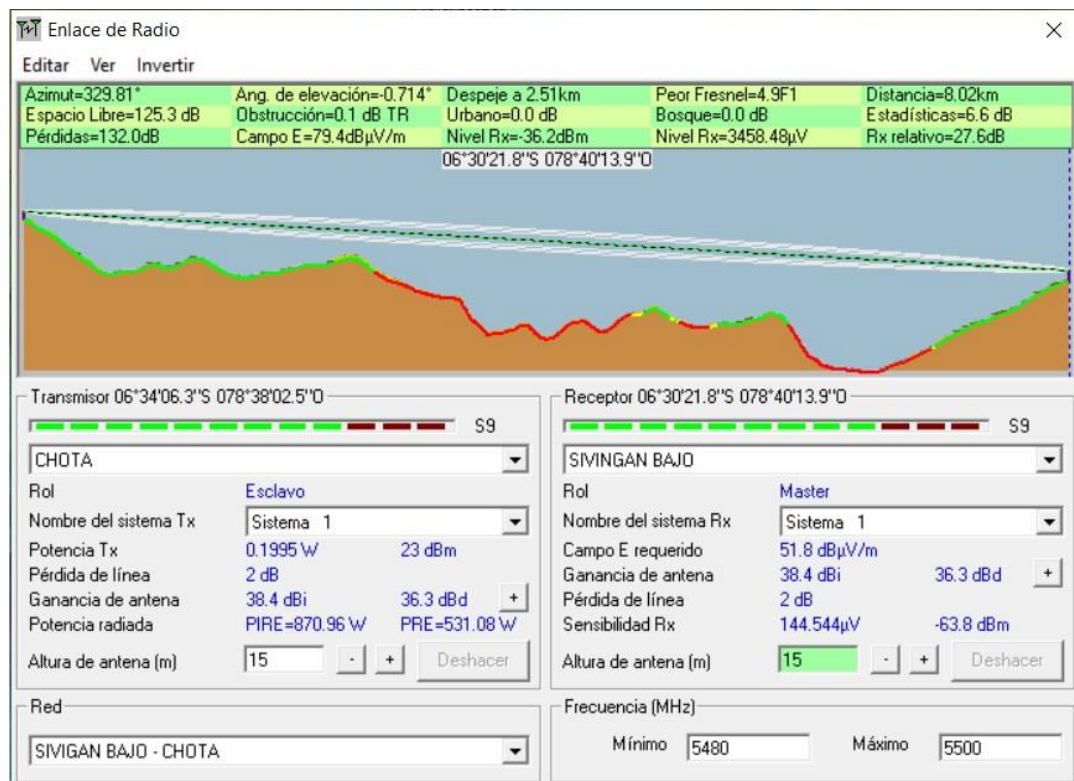


Figura 4.19. Perfil de elevación Enlace nodo Chota a nodo Sivingan Bajo.

Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del sistema:

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' window. On the left is a list of systems from 'Sistema 1' to 'Sistema 25'. The main area has tabs for 'Parámetros', 'Topología', 'Miembros', 'Sistemas', and 'Estilo'. The 'Sistemas' tab is active, showing configuration for 'Sistema 1'. The configuration includes a dropdown for '01', a file selection 'Seleccionar desde Radiosys01.dat', and various input fields for system parameters.

Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
[01] [Seleccionar desde Radiosys01.dat]				
Nombre del sistema: Sistema 1				
Potencia del Transmisor (Watt)	0.1995262	(dBm)	23	
Umbral del receptor (µV)	144.544	(dBm)	-63.8	
Pérdida de la línea (dB)	2	(Cable+cavidades+conectores)		
Tipo de antena	corner.ant		Ver	
Ganancia de antena (dBi)	38.4	(dBd)	36.25	
Altura de antena (m)	15	(Sobre el suelo)		
Pérdida adicional cable (dB/m)	0	(Si la altura de la antena difiere)		
Agregar a Radiosys01.dat		Remover del Radiosys01.dat		

Figura 4.20. Detalles del sistema - Enlace nodo Chota a nodo Sivingan Bajo.

Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del enlace:

En este enlace se operó con la modulación **256 QAM (0.81)** correspondiente al equipo **PPT 670** de la marca **Cambium Networks**, en el sistema se aplicó antenas con 38.4dbi de ganancia, se obtuvo un margen de desvanecimiento en simulación de 27.6db y se aseguró un enlace con un throughput de 200.1Mbps en un ancho de banda de 20Mhz.

4.2.4.2 Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Sivingan Alto

El nodo Sivingan Bajo es el nodo intermedio que enlaza con los demás nodos terminales, en este caso tenemos a Sivingan Alto, quien es un nodo terminal, este enlace tiene una distancia de 2.31 Km, a continuación, se realizaron los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d [\text{db}] , F [\text{Mhz}], d [\text{Km}]$$

$$F = 5400 \text{ MHz} \quad d = 2.31 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205400 \times 2.31 [\text{db}]$$

$$A_{EL} = 114.42 \text{ db}$$

Potencia de recepción: Aplicamos la fórmula para el cálculo de la potencia de recepción dada por la ecuación siguiente:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 24 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 28.5 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 114.42 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 28.5 \text{ dbi}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -37.42 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda: se asignó un ancho de banda de 20 MHz a este enlace.

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): El equipo “PTP 670” de la marca **Cambium Networks** posee 13 modulaciones digitales divididas en dos tipos (single y dual), asimismo opera en la banda de 4.9 a 6.05 GHz, continuación en la primera tabla se muestra los niveles de potencia de transmisión y sensibilidad para un tipo de modulación aplicada en un determinado ancho de banda, seguidamente se muestra una segunda tabla

quien indica la cantidad de throughput para un respectivo ancho de banda y nivel de modulación.

Este enlace debe tener una modulación quien mínimo asegure una velocidad de transmisión de 52Mbps.

SPECIFICATION SHEET: PTP670

RECEIVER SENSITVITY AND TRANSMIT POWER dbm								Transmit Power (dBm)
	Channel Size							
Modulation Mode	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz	
BPSK 0.63 Single	-96.8	-94.8	-93.0	-91.8	-90.0	-88.8	-88.3	27
QPSK 0.63 Single	-93.7	-91.7	-89.9	-88.7	-86.9	-85.7	-85.2	26
QPSK 0.87 Dual	-89.7	-87.7	-85.9	-84.7	-82.9	-81.7	-81.1	26
16QAM 0.63 Single	-87.4	-85.4	-83.6	-82.3	-80.6	-79.3	-78.8	25
16QAM 0.63 Dual	-83.4	-81.4	-79.6	-78.4	-76.6	-75.4	-74.9	25
16QAM 0.87 Single	-82.9	-80.8	-79.1	-77.8	-76.1	-74.8	-74.3	25
16QAM 0.87 Dual	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	25
64QAM 0.75 Single	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	24
64QAM 0.75 Dual	-76.7	-74.7	-72.9	-71.6	-69.9	-68.6	-68.1	24
64QAM 0.92 Single	-75.8	-73.8	-72.1	-70.8	-69.1	-67.8	-67.3	24
64QAM 0.92 Dual	-72.5	-70.5	-68.8	-67.5	-65.8	-64.5	-64.0	24
256QAM 0.81 Single	-72.5	-70.5	-68.7	-67.4	-65.7	-64.4	-63.9	23
256QAM 0.81 Dual	-68.8	-66.8	-65.0	-63.8	-62.0	-60.8	-60.3	23

Figura 4.21. Características y Esquemas de Modulación- “PTP 670” Cambium Networks.

Fuente: SPECIFICATION SHEET: PTP670

En este enlace se ha operado con la modulación **64 QAM SINGLE (0.92)**.

THROUGHPUT (Mbps)							
Modulation Mode	Channel Size						
	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz
BPSK 0.63 Single	2.3	4.8	7.2	9.6	14.5	19.9	21.8
QPSK 0.63 Single	4.7	9.6	14.5	19.3	29.1	39.7	43.5
QPSK 0.87 Single	6.5	13.4	20.2	26.8	40.5	55.2	60.5
16QAM 0.63 Single	6.5	13.4	20.2	26.8	40.5	55.3	60.6
16QAM 0.87 Single	9.3	19.3	29.0	38.5	58.2	79.5	87.1
64QAM 0.75 Single	12.1	25.1	37.7	50.0	75.6	103.2	113.1
64QAM 0.92 Single	16.7	34.5	51.9	68.9	104.1	142.1	155.7
256QAM 0.81 Single	24.2	50.1	75.4	100.1	151.1	206.3	226.1
16QAM 0.63 Dual	13.0	26.8	40.4	53.6	80.9	110.5	121.1
16QAM 0.87 Dual	18.6	38.6	58.0	77.0	116.4	158.9	174.1
64QAM 0.75 Dual	24.2	50.1	75.4	100.0	151.1	206.3	226.1
64QAM 0.92 Dual	33.3	69.0	103.8	137.8	208.1	284.1	311.3
256QAM 0.81 Dual	48.4	100.2	150.7	200.1	302.2	412.6	452.2

Figura 4.22. Esquema en Mbps - “PTP 670” Cambium Networks

Fuente: SPECIFICATION SHEET: PTP670

Margen de desvanecimiento (Fade Margin):

El valor de la sensibilidad (potencia umbral) según el esquema de modulación 64 QAM es de -70.8 dbm y la potencia de recepción ya calculada es: $P_n = -37.42$ dBm, hacemos uso de la fórmula para calcular el margen de desvanecimiento.

$$\begin{aligned} FM &= P_n - P_u \text{ [db]} \\ FM &= -37.42 - (-70.8) \\ FM &= 33.38 \text{ dB} \end{aligned}$$

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Sivingan Bajo:
 - Altura de torre: 28m
 - Altura de antena: 25m
- Nodo Sivingan Alto:
 - Altura de torre: 28m
 - Altura de Antena: 25m

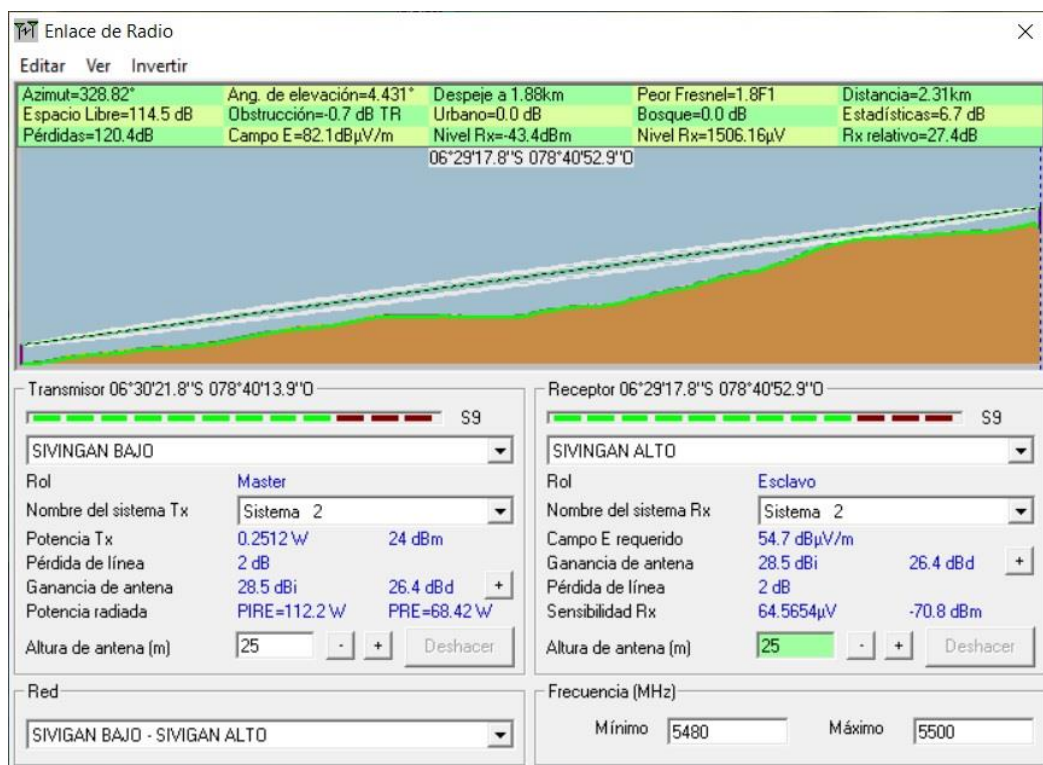


Figura 4.23. Perfil de elevación Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Sivingan Alto

Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del sistema:

The screenshot shows a software window titled 'Propiedades de las redes'. On the left is a list of systems from 'Sistema 1' to 'Sistema 25', with 'Sistema 2' selected. The main area has tabs for 'Parámetros', 'Topología', 'Miembros', 'Sistemas', and 'Estilo'. The 'Sistemas' tab is active, displaying configuration fields for the selected system. At the top of this tab are buttons: 'Parámetros por defecto', 'Copiar Red', 'Pegar Red', 'Cancelar', and 'OK'. The configuration fields include: a dropdown for '01' and a file selector 'Seleccionar desde Radiosys01.dat'; 'Nombre del sistema' set to 'Sistema 2'; 'Potencia del Transmisor (Watt)' at 0.2511886 (24 dBm); 'Umbral del receptor (µV)' at 64.5654 (-70.8 dBm); 'Pérdida de la línea (dB)' at 2, with a note '(Cable+cavidades+conectores)'; 'Tipo de antena' set to 'corner.ant' with a 'Ver' button; 'Ganancia de antena (dBi)' at 28.5 (26.35 dBd); 'Altura de antena (m)' at 10, with a note '(Sobre el suelo)'; and 'Pérdida adicional cable (dB/m)' at 0, with a note '(Si la altura de la antena difiere)'. At the bottom are buttons 'Agregar a Radiosys01.dat' and 'Remover del Radiosys01.dat'.

Lista de todos los sistemas	Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
Sistema 1	<div>01 Seleccionar desde Radiosys01.dat</div> <div>Nombre del sistema Sistema 2</div> <div>Potencia del Transmisor (Watt) 0.2511886 (dBm) 24</div> <div>Umbral del receptor (µV) 64.5654 (dBm) -70.8</div> <div>Pérdida de la línea (dB) 2 (Cable+cavidades+conectores)</div> <div>Tipo de antena corner.ant Ver</div> <div>Ganancia de antena (dBi) 28.5 (dBd) 26.35</div> <div>Altura de antena (m) 10 (Sobre el suelo)</div> <div>Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)</div> <div>Agregar a Radiosys01.dat Remover del Radiosys01.dat</div>				
Sistema 2					
Sistema 3					
Sistema 4					
Sistema 5					
Sistema 6					
Sistema 7					
Sistema 8					
Sistema 9					
Sistema 10					
Sistema 11					
Sistema 12					
Sistema 13					
Sistema 14					
Sistema 15					
Sistema 16					
Sistema 17					
Sistema 18					
Sistema 19					
Sistema 20					
Sistema 21					
Sistema 22					
Sistema 23					
Sistema 24					
Sistema 25					

Figura 4.24. Detalles del sistema - Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Sivingan Alto.

Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del enlace:

En este enlace se operó con la modulación 64 QAM (0.92) correspondiente al equipo **PTP 670** de la marca **Cambium Networks**, en el sistema se aplicó antenas con 28.5dbi de ganancia se obtuvo un margen de desvanecimiento en simulación de 27.4dB y se aseguró un enlace con un throughput de 268.9Mbps en un ancho de banda de 20Mhz.

4.2.4.3 Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chuyabamba

El nodo Chuyabamba fue nuestro tercer nodo a enlazar, este enlace tiene una distancia de 4.62 Km, a continuación, se realizaron los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d [\text{db}] , F [\text{Mhz}], d [\text{Km}]$$
$$F = 5400 \text{ MHz} \quad d = 4.62 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205400 \times 4.62 [\text{db}]$$
$$A_{EL} = 120.44 \text{ db}$$

Potencia de recepción: Aplicamos la fórmula para el cálculo de la potencia de recepción dada por la ecuación siguiente:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 22 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 30 \text{ bi}$$

$$A_{EL} = 116.60 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 30 \text{ dbi}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -42.44 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda: se asignó un ancho de banda de 20 MHz a este enlace.

Tasa de Modulación: El equipo “Rocket M5” de la marca **Ubiquiti Networks** posee modulaciones que obedecen el estándar IEEE 802.11a, estas modulaciones se relacionan con un nivel de potencia de transmisión, sensibilidad y velocidad de transferencia de datos.

A continuación, se muestran las características del equipo.

RM5-Ti Operating Frequency							
Operating Frequency				Worldwide: 5170 - 5875 MHz USA: 5725 - 5850 MHz*			
Output Power				27 dBm			
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
802.11a	6 - 24 Mbps	27 dBm	± 2 dB	802.11a	6 - 24 Mbps	-94 dBm Min.	± 2 dB
	36 Mbps	25 dBm	± 2 dB		36 Mbps	-80 dBm	± 2 dB
	48 Mbps	23 dBm	± 2 dB		48 Mbps	-77 dBm	± 2 dB
	54 Mbps	22 dBm	± 2 dB		54 Mbps	-75 dBm	± 2 dB

Figura 4.25. Características y Esquemas de Modulación- “Roket M5” Ubiquiti Networks.
Fuente: PowerBeam (Ubiquiti Networks, 2018)

Specifications

RocketDish RD-5G30	
Dimensions	650 x 650 x 304 mm
Weight	9.8 kg
Frequency	5.1 - 5.8 GHz
Gain	30 dBi
HPOL Beamwidth	5° (3 dB)
VPOL Beamwidth	5° (6 dB)
Front-to-Back Ratio	-34 dB
Max. VSWR	1.4:1
Wind Survivability	125 mph
Wind Loading	177 lb @ 125 mph
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	35 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included

Figura 4.26. Características y Esquemas de Antena- “RD-5G30” Ubiquiti Networks.
Fuente: PowerBeam AC (Ubiquiti Networks, 2018)

Este enlace operó con un Date Rate de 54mbps, para cumplir con el requerimiento de transmisión mínima (52 Mbps) en este nodo, asimismo se tiene una antena de 30 dbi.

Margen de desvanecimiento (Fading Margin):

El valor de la sensibilidad (potencia umbral) según el esquema del equipo en mención es de -75 dbm y la potencia de recepción ya calculada es:

$P_n = -42.44\text{dBm}$, hacemos uso de la fórmula para calcular el margen de desvanecimiento.

$$\begin{aligned} FM &= P_n - P_u \text{ [db]} \\ FM &= -42.44 - (-75) \\ FM &= 32.56 \text{ db} \end{aligned}$$

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Sivingan Bajo:
 - Altura de torre: 23m
 - Altura de antena: 20m
- Nodo Chuyabamba:
 - Altura de torre: 23m
 - Altura de Antena: 20m

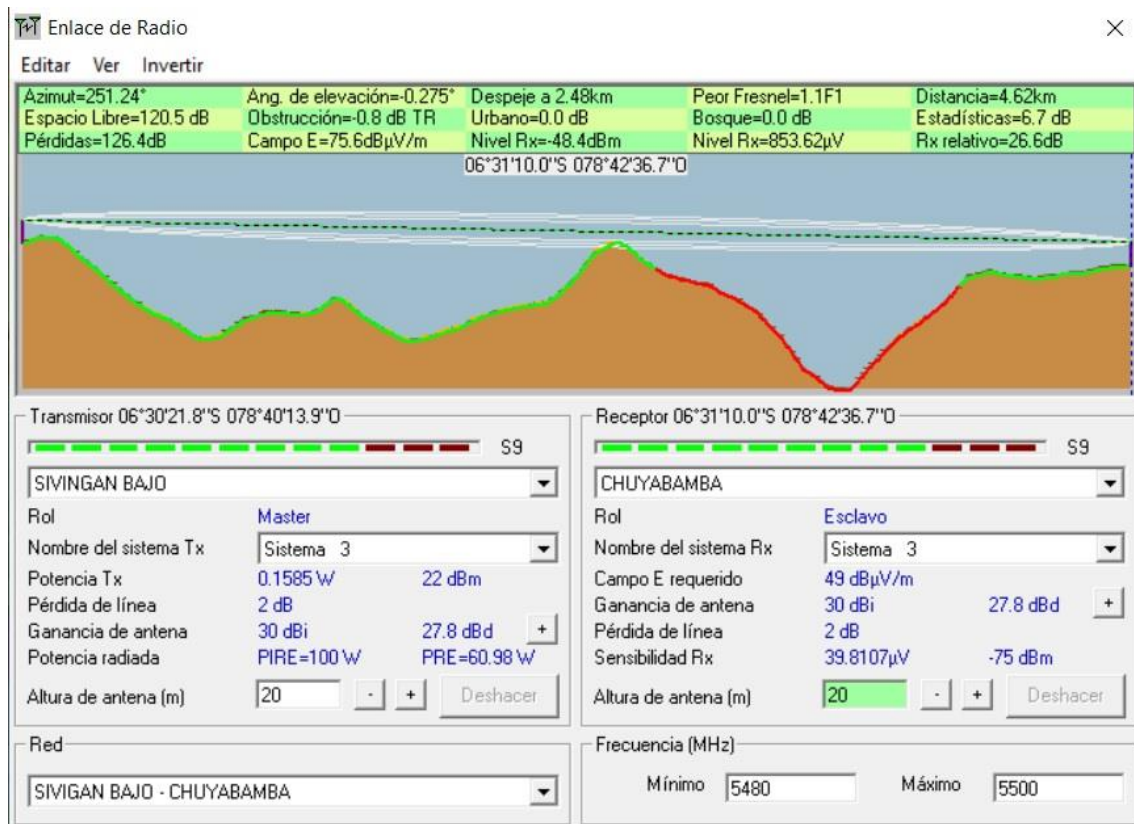


Figura 4.27. Perfil de elevación Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chuyabamba

Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del sistema:

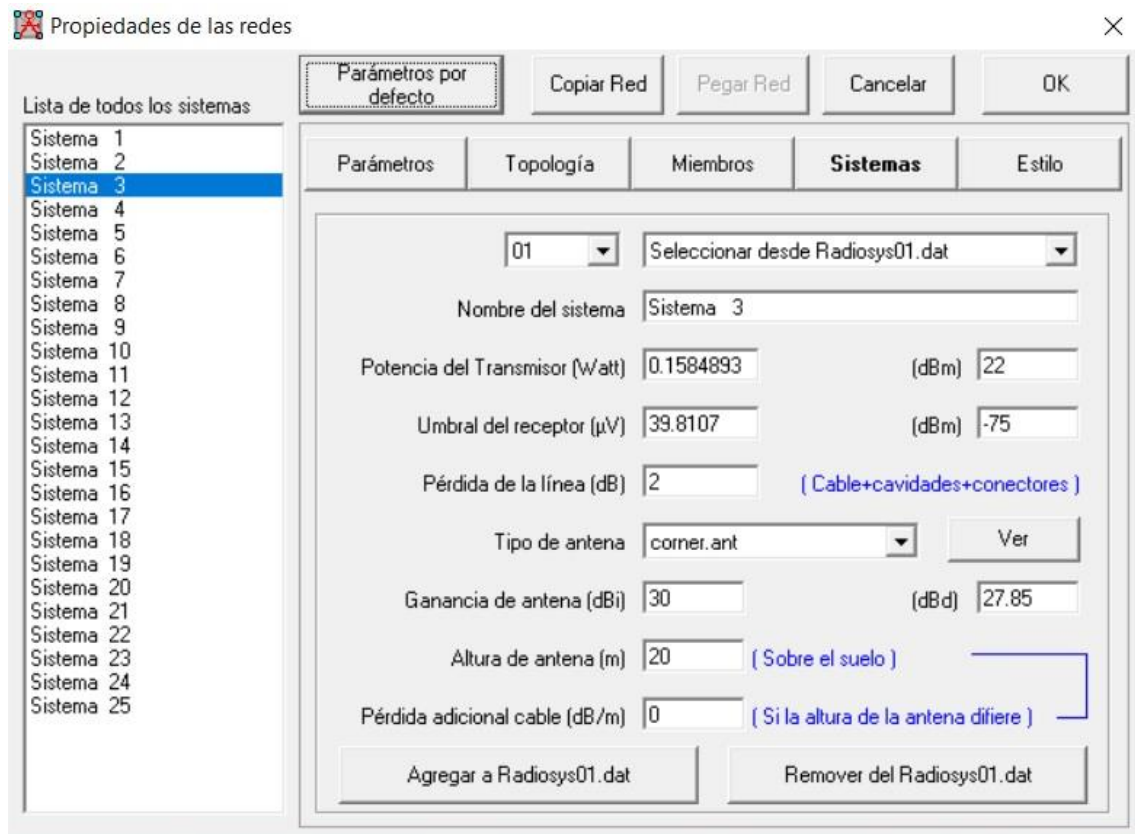


Figura 4.28. Detalles del sistema - Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chuyabamba.
Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del enlace:

En este enlace se operó con antena RD-5G30 compatibles con el equipo **Rocket M5** de la marca **Ubiquiti Networks**, y se consiguió un margen de desvanecimiento en simulación de 26.6db y un throughput de 54Mbps.

4.2.4.4 Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chulit Alto.

El nodo Chulit Alto es el nodo final, este enlace tiene una distancia de 2.86 Km, a continuación, se realizaron los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d [\text{db}] , F [\text{Mhz}], d [\text{Km}]$$

$$F = 5400 \text{ MHz} \quad d = 2.86 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205400 \times 2.86 [\text{db}]$$

$$A_{EL} = 116.27 \text{ db}$$

Potencia de recepción: Aplicamos la fórmula para el cálculo de la potencia de recepción dada por la ecuación siguiente:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 22 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 29 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 116.27 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 29 \text{ dbi}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -40.27 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda: se asignó un ancho de banda de 20 MHz a este enlace.

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates):

El equipo PowerBeam, modelo “PBE-M5-620” de la marca **Ubiquiti Networks** posee modulaciones que obedecen el estándar IEEE 802.11a, estas modulaciones se relacionan con un nivel de potencia de transmisión, sensibilidad y velocidad de transferencia de datos.

A continuación, se muestran las características del equipo.

Specifications

PBE-M5-620					
Dimensions	620 x 620 x 386 mm (24.41 x 24.41 x 15.2")				
Weight	6.4 kg (14.11 lb)				
Power Supply	24V, 0.5A Gigabit PoE				
Max. Power Consumption	8.5W				
Operating Frequency	Worldwide	USA: U-NII-1	USA: U-NII-2A	USA: U-NII-2C	USA: U-NII-3
	5150 - 5875 MHz	5150 - 5250 MHz*	5250 - 5350 MHz*	5470 - 5725 MHz*	5725 - 5850 MHz*
Gain	29 dBi				
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port				
Processor Specs	Atheros MIPS 74Kc, 560 MHz				
Memory	64 MB DDR2, 8 MB Flash				
LEDs	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN				
Signal Strength LEDs	Software-Adjustable to Correspond to Custom RSSI Levels				
Max. VSWR	1.6:1				
Channel Sizes	5/8/10/20/30/40 MHz				
Polarization	Dual Linear				
Enclosure	Outdoor UV Stabilized Plastic				
Mounting	Pole-Mount (Kit Included)				
Wind Loading	1510 N @200 km/h (340 lbf @125 mph)				

Figura 4.29. Características y Esquemas de Modulación- “PBE-M5-620” Ubiquiti Networks.

Fuente: PowerBeam (Ubiquiti Networks, 2013)

PBE-M5-620 Output Power: 24 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
802.11a	6 - 24 Mbps	24 dBm	± 2 dB	802.11a	6 - 24 Mbps	-94 dBm Min.	± 2 dB
	36 Mbps	24 dBm	± 2 dB		36 Mbps	-80 dBm	± 2 dB
	48 Mbps	23 dBm	± 2 dB		48 Mbps	-77 dBm	± 2 dB
	54 Mbps	22 dBm	± 2 dB		54 Mbps	-75 dBm	± 2 dB

Figura 4.30. Características y Esquemas de Modulación- “PBE-M5-620” Ubiquiti Networks.

Fuente: PowerBeam (Ubiquiti Networks, 2018)

En este enlace se ha operado con un nivel de potencia de transmisión de 22dbm, sensibilidad -75dbm y Data rate 54Mbps (52Mbps mínimos requeridos en el enlace).

Margen de desvanecimiento (Fading Margin):

El valor de la sensibilidad (potencia umbral) según el nivel de potencia de transmisión seleccionado es de -75dbm y la potencia de recepción ya calculada es: $P_n = -40.27$ dBm, hacemos uso de la fórmula para calcular el margen de desvanecimiento.

$$\begin{aligned} FM &= P_n - P_u [db] \\ FM &= -40.27 - (-75) \\ FM &= 34.73 \text{ db} \end{aligned}$$

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Sivingan Bajo:
 - Altura de torre: 13m
 - Altura de antena: 10m
- Nodo Chulit Alto:
 - Altura de torre: 21m
 - Altura de Antena: 21m

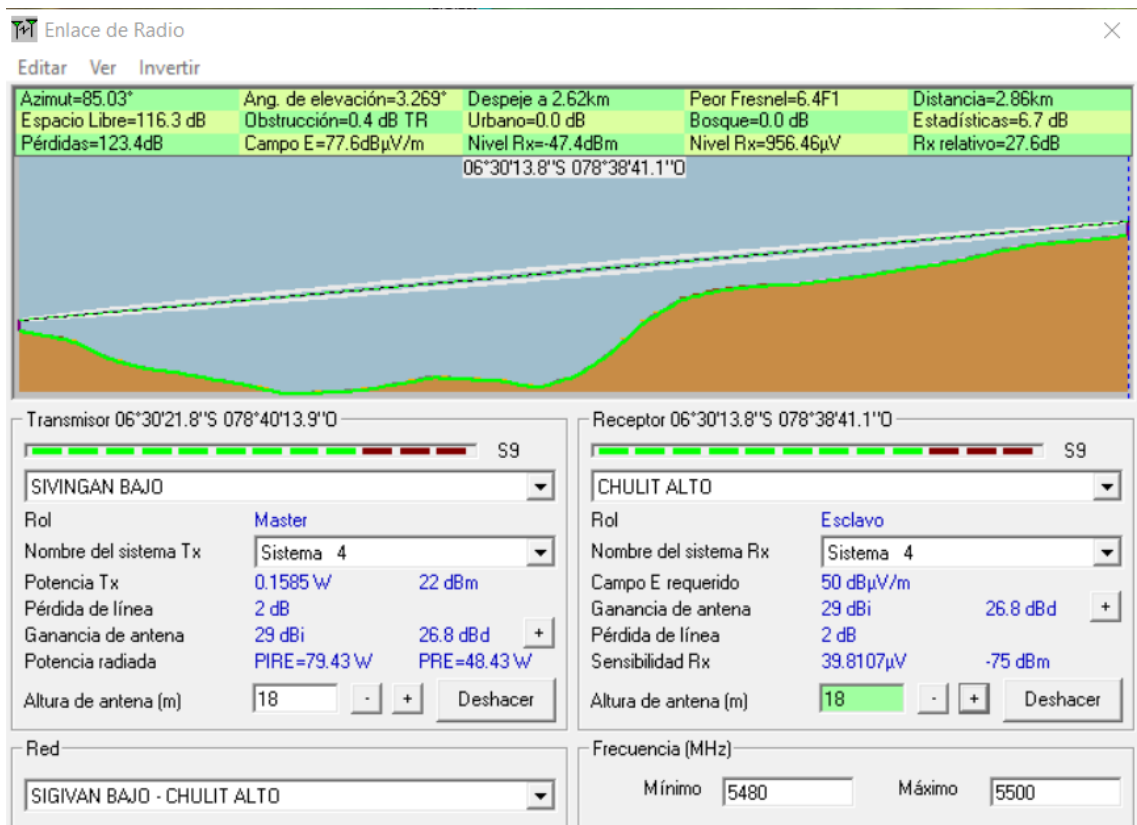


Figura 4.31. Perfil de elevación Enlace Sivingan Bajo a Chulit Alto.

Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del sistema:

Propiedades de las redes

Lista de todos los sistemas

- Sistema 1
- Sistema 2
- Sistema 3
- Sistema 4**
- Sistema 5
- Sistema 6
- Sistema 7
- Sistema 8
- Sistema 9
- Sistema 10
- Sistema 11
- Sistema 12
- Sistema 13
- Sistema 14
- Sistema 15
- Sistema 16
- Sistema 17
- Sistema 18
- Sistema 19
- Sistema 20
- Sistema 21
- Sistema 22
- Sistema 23
- Sistema 24
- Sistema 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

01 Seleccionar desde Radiosys01.dat

Nombre del sistema Sistema 4

Potencia del Transmisor (Watt) 0.1584893 (dBm) 22

Umbral del receptor (µV) 39.8107 (dBm) -75

Pérdida de la línea (dB) 2 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena corner.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 29 (dBd) 26.85

Altura de antena (m) 18 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys01.dat Remover del Radiosys01.dat

Figura 4.32. Detalles del sistema - Enlace nodo Sivingan Bajo a nodo Chulit Alto.

Fuente: Elaboración propia en software Radio Mobile

Detalles del enlace:

En este enlace se operó con un nivel de potencia de transmisión de -22dbm, ganancia de antena de 29dbi, sensibilidad -75dbm y finalmente se obtuvo un margen de desvanecimiento simulado de 27.6db, aplicando el equipo **PBE-M5-620** de la marca **Ubiquiti Networks**, se consiguió un throughput de 54Mbps.

4.2.4.5 Plan de frecuencias para red PTP

Se realiza el cálculo de las frecuencias Portadoras para una banda de 5,470Ghz a 5,500Ghz.

$$F1 = \frac{5.4800 + 5.48500}{2} = 5.48250$$
$$F2 = \frac{5.48500 + 5.4900}{2} = 5.48750$$
$$F1' = \frac{5.4900 + 5.49500}{2} = 5.49250$$
$$F2' = \frac{5.49500 + 5.5000}{2} = 5.49750$$

Banda: [5.480Ghz to 5.500Ghz]

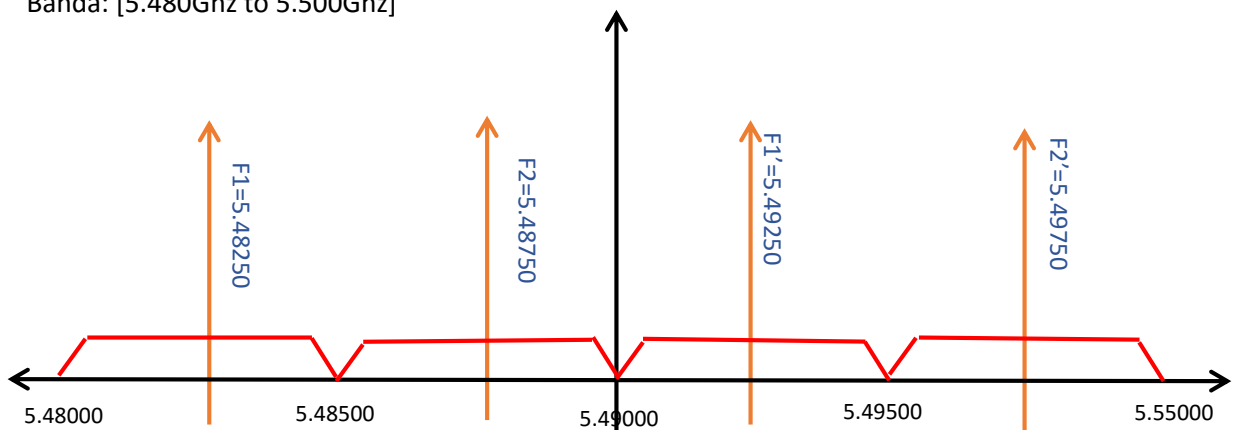


Figura 4.33. Plan de frecuencias de red PTP

Fuente: Elaboración Propia

La asignación de frecuencias está referida a los enlaces siguientes:

- Nodo Chota a Sivingan Bajo.
- Nodo Sivingan Bajo a Nodo Sivingan Alto.
- Nodo Sivingan Bajo a Nodo Chuyabamba.
- Nodo Sivingan Bajo a Nodo Chulit Alto.

4.2.4.6 Diagrama del plan de frecuencias para red PTP

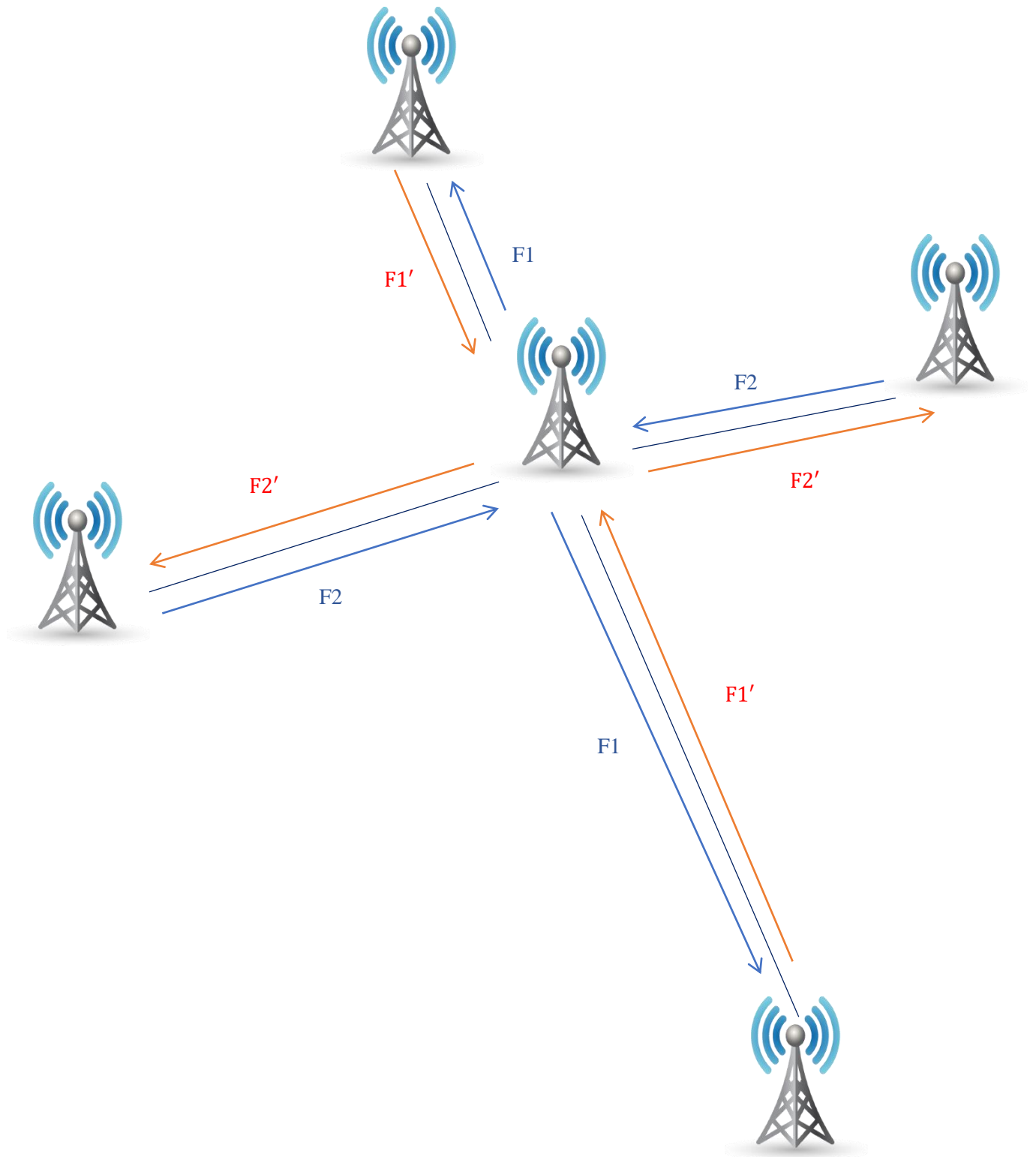


Figura 4.34. Diagrama de plan de frecuencias de red PTP

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra los enlaces simulados desde los nodos hacia las estaciones internas de los distritos de Sivingan Alto, Chuyabamba y Chulit Alto, teniendo dos estaciones internas en cada nodo (26Mbps mínimos por cada estación interna) y en el caso de Sivingan Bajo se instaló la estación interna en el mismo nodo debido a que el radio de cobertura en esa ubicación lograba coberturar toda la localidad.

4.2.4.7 Enlace nodo Sivingan Alto a estación interna 1 - (PMP)

El nodo Sivingan Alto tiene una distancia de 0,26 km con la estación interna 1, a continuación, realizamos los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d [\text{db}] , F [\text{MHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5800 \text{ MHz} \quad d = 0,26 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205800 \times 0,26 [\text{db}]$$

$$A_{EL} = 96,06 \text{ db}$$

Potencia de recepción:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 25 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 96,06 \text{ db}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -41.56 \text{ dbm}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 15.5 \text{ dbi}$$

Ancho de Banda Disponible:

Este enlace operó con un ancho de banda de 10Mhz. Según el dimensionamiento del throughput en el clúster de comunicaciones este enlace debe tener una capacidad mínima de 26Mbps, se tomó en cuenta la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 la única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps en capacidad de transmisión.

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Sivingan Alto:
 - Altura de torre: 26m
 - Altura de antena: 23m
- Estación interna 1:
 - Altura de torre ventada: 13m
 - Altura de Antena: 10m

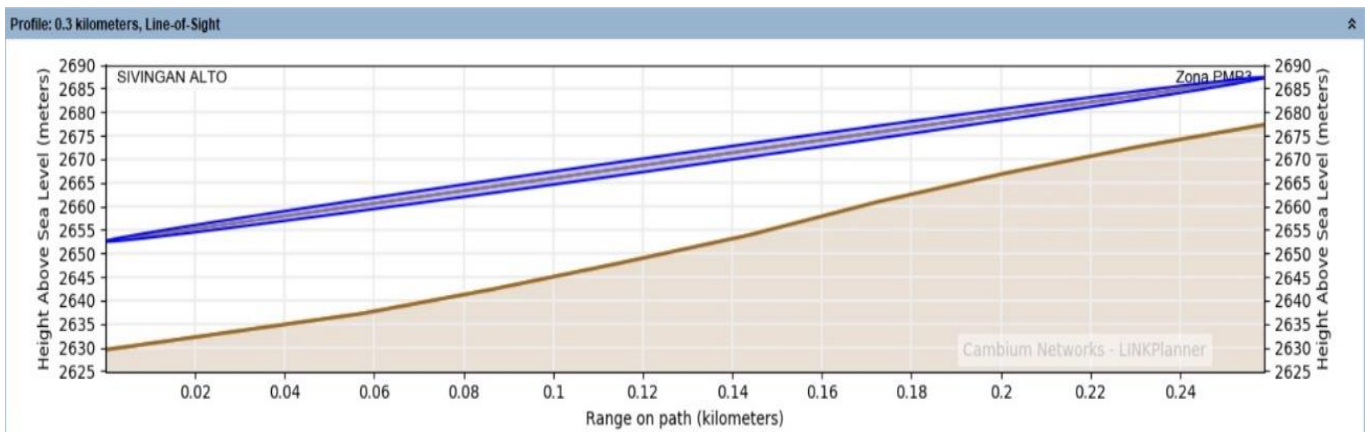


Figura 4.35. Perfil de elevación Enlace Nodo Sivingan Alto a Estación interna 1.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Detalles del rendimiento:

Performance Details											
Common details											
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	63.1	56.8	50.5	37.9	25.2	18.9	12.6	31.6	28.4	25.2	18.9
Performance to Access Point											
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.6	28.5	25.3	19.0	12.7	9.5	6.3	15.8	14.3	12.7	9.5
Fade Margin (dB):	11.3	16.3	18.3	21.3	24.3	27.3	30.3	11.3	16.3	18.3	21.3
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module											
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.4	28.3	25.1	18.9	12.6	9.4	6.3	15.7	14.1	12.6	9.4
Fade Margin (dB):	11.3	15.3	19.3	26.3	29.3	31.3	35.3	14.3	18.3	22.3	29.3
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 4.36. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Sivingan Alto a Estación interna 1.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Finalizada la simulación de este enlace se concluyó en operar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 21,3db, una velocidad de transmisión 37,9Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.4.8 Enlace nodo Sivingan Alto a estación interna 2 - (PMP)

El nodo Sivingan Alto tiene una distancia de 0,42km con la estación interna 2, a continuación, realizamos los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d) [db] , F [\text{MHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5800 \text{ Mhz} \quad d = 0,42 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205800 \times 0,42) [db]$$

$$A_{EL} = 100,23 \text{ db}$$

Potencia de recepción:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 17 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 100,23 \text{ db}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -53,73 \text{ dbm}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 15.5 \text{ dbi}$$

Ancho de Banda Disponible:

Este enlace operó con un ancho de banda de 10Mhz. Según el dimensionamiento del throughput en el clúster de comunicaciones este enlace debe tener una capacidad mínima de 26Mbps, se tomó en cuenta la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force 190.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force190. La única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps en capacidad de transmisión.

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Sivingan Alto:
 - Altura de torre: 26m
 - Altura de antena: 23m
- Estación interna 2:
 - Altura de torre ventada: 13m
 - Altura de Antena: 10m



Figura 4.37. Perfil de elevación Enlace Sivingan Alto a Estación interna 2.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Detalles del rendimiento:

Performance Details											
Common details											
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	63.1	56.8	50.5	37.9	25.2	18.9	12.6	31.6	28.4	25.2	18.9
Performance to Access Point											
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.6	28.5	25.3	19.0	12.7	9.5	6.3	15.8	14.3	12.7	9.5
Fade Margin (dB):	12.5	16.5	18.5	21.5	24.5	27.5	30.5	12.5	16.5	18.5	21.5
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module											
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.4	28.3	25.1	18.9	12.6	9.4	6.3	15.7	14.1	12.6	9.4
Fade Margin (dB):	19.5	23.5	27.5	34.5	37.5	39.5	43.5	22.5	26.5	30.5	37.5
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 4.38. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Sivingan Alto a Estación interna 2.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Finalizada la simulación de este enlace se concluyó en operar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 21.5 dB una velocidad de transmisión 37,9Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.4.9 Enlace nodo Chuyabamba a estación interna 1 - (PMP)

El nodo Chuyabamba tiene una distancia de 0,27 km con la estación interna 1, a continuación, realizamos los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d) [db] , F [\text{MHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5800 \text{ MHz} \quad d = 0,27 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205800 \times 0,27) [db]$$

$$A_{EL} = 96,39 \text{ db}$$

Potencia de recepción:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 11 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 17 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 96,39 \text{ db}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -47,79 \text{ dbm}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 21,6 \text{ dbi}$$

Ancho de Banda Disponible:

Este enlace operó con un ancho de banda de 10Mhz. Según el dimensionamiento del throughput en el clúster de comunicaciones este enlace debe tener una capacidad mínima de 26Mbps, se tomó en cuenta la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180. La única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps en capacidad de transmisión.

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Chuyabamba:
 - Altura de torre: 24m
 - Altura de antena: 21m
- Estación interna 1:
 - Altura de torre ventada: 13m
 - Altura de Antena: 10m

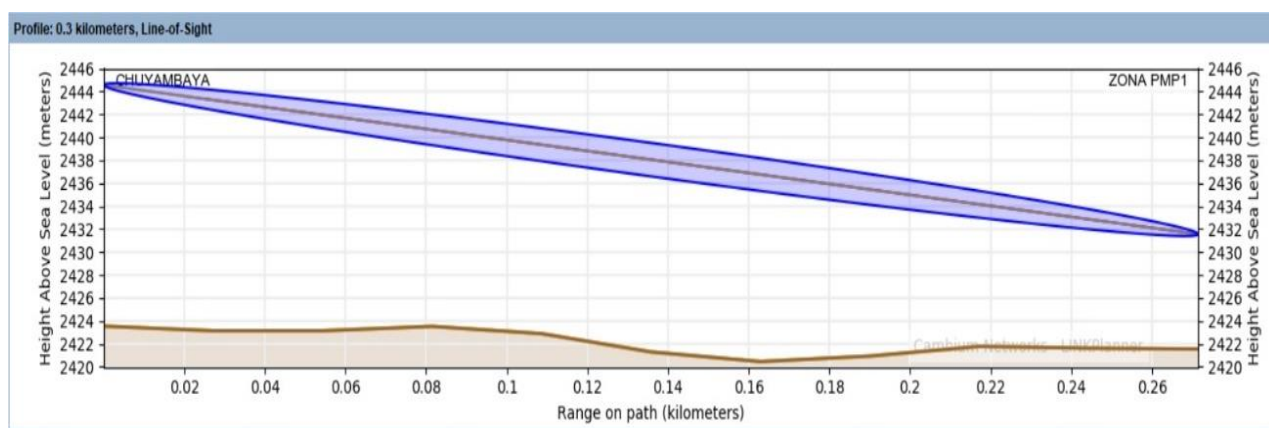


Figura 4.39. Perfil de elevación Enlace Nodo Chuyabamba a Estación interna 1.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Detalles del rendimiento:

Performance Details										
Common details										
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS8	MCS5
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	16QAM
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	58.5	52.7	46.8	35.1	23.4	17.5	11.7	29.3	26.3	17.5
Performance to Access Point										
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	29.0	26.1	23.2	17.4	11.6	8.7	5.8	14.5	13.1	8.7
Fade Margin (dB):	12.4	16.4	18.4	21.4	24.4	27.4	30.4	12.4	16.4	21.4
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module										
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	29.5	26.6	23.6	17.7	11.8	8.8	5.9	14.8	13.3	8.8
Fade Margin (dB):	26.4	30.4	34.4	41.4	44.4	47.4	50.4	29.4	33.4	43.4
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000

Figura 4.40. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chuyabamba a Estación interna 1.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Finalizada la simulación de este enlace se concluyó en operar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 21.4 dB una velocidad de transmisión 35,1Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.4.10 Enlace nodo Chuyabamba a estación interna 2 - (PMP)

El nodo Chuyabamba tiene una distancia de 0,30 km con la estación interna 2, a continuación, realizamos los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d [\text{db}] , F [\text{MHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5800 \text{ MHz} \quad d = 0,30 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205800 \times 0,30 [\text{db}]$$

$$A_{EL} = 97,31 \text{ db}$$

Potencia de recepción:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 9 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 17 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 97,31 \text{ db}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -47,79 \text{ dbm}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 21,6 \text{ dbi}$$

Ancho de Banda Disponible:

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force190. La única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps en capacidad de transmisión.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force190, la única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) con un ancho de banda de 10Mhz quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps promedio en capacidad de transmisión.

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Chuyabamba:
 - Altura de torre: 24m
 - Altura de antena: 21m
- Estación interna 2:
 - Altura de torre ventada: 13m
 - Altura de Antena: 10m

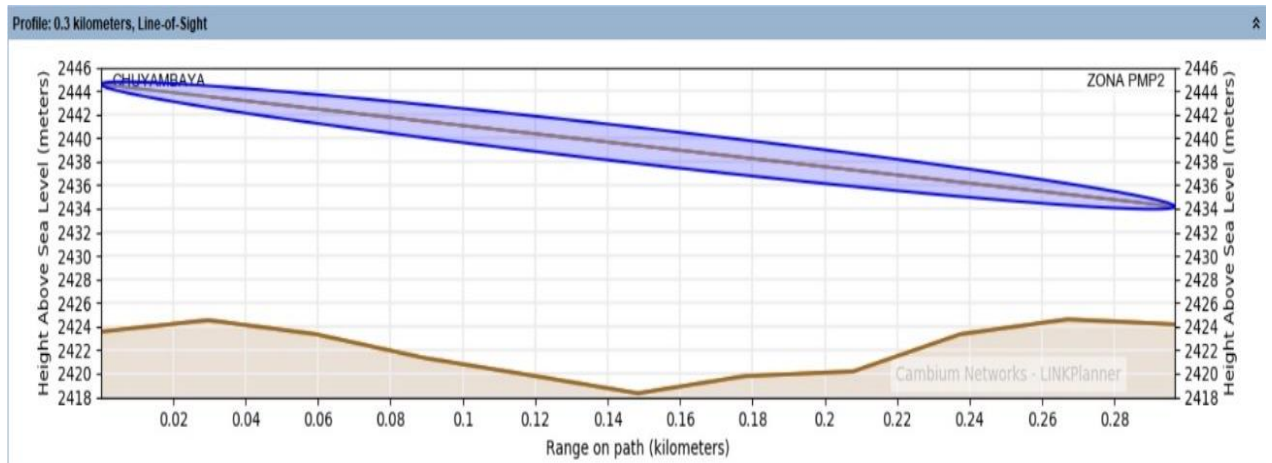


Figura 4.41. Perfil de elevación Enlace Nodo Chuyabamba a Estación interna 2.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Detalles del rendimiento:

Performance Details											
Common details											
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	58.5	52.7	46.8	35.1	23.4	17.5	11.7	29.3	26.3	23.4	17.5
Performance to Access Point											
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	29.0	26.1	23.2	17.4	11.6	8.7	5.8	14.5	13.1	11.6	8.7
Fade Margin (dB):	12.5	16.5	18.5	21.5	24.5	27.5	30.5	12.5	16.5	18.5	21.5
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module											
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	29.5	26.6	23.6	17.7	11.8	8.8	5.9	14.8	13.3	11.8	8.8
Fade Margin (dB):	28.5	32.5	36.5	43.5	46.5	49.5	52.5	31.5	35.5	39.5	45.5
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 4.42. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chuyabamba a Estación interna 2.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Finalizada la simulación de este enlace se concluyó en operar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 25.1 dB una velocidad de transmisión 35,1Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.4.11 Enlace nodo Chulit Alto a estación interna 1 - (PMP)

El nodo Chuyabamba tiene una distancia de 0,18 km con la estación interna 1, a continuación, realizamos los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d) [db] , F [\text{MHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5800 \text{ MHz} \quad d = 0,18 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205800 \times 0,18) [db]$$

$$A_{EL} = 92,87 \text{ db}$$

Potencia de recepción:

$$P_r (dbm) = P_t (dbm) - A_{c1} (db) - A_{g1} (db) + G_{a1} (dbi) - A_{EL} (db) + G_{a2} (dbi) - A_{c2} (db) - A_{g2} (db)$$

$$P_t = 5dbm$$

$$A_{c1} = 1db$$

$$A_{g1} = 1db$$

$$G_{a1} = 18dbi$$

$$A_{EL} = 92,87db$$

$$P_r (dbm) = -58,37dbm$$

$$A_{c2} = 1db$$

$$A_{g2} = 1db$$

$$G_{a2} = 15.5dbi$$

Ancho de Banda Disponible:

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force190. La única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps en capacidad de transmisión.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force190, la única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) con un ancho de banda de 10Mhz quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 68,4Mbps promedio en capacidad de transmisión.

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Chulit Alto:
 - Altura de torre: 20m
 - Altura de antena: 17m
- Estación interna 2:
 - Altura de torre ventada: 13m
 - Altura de Antena: 10m

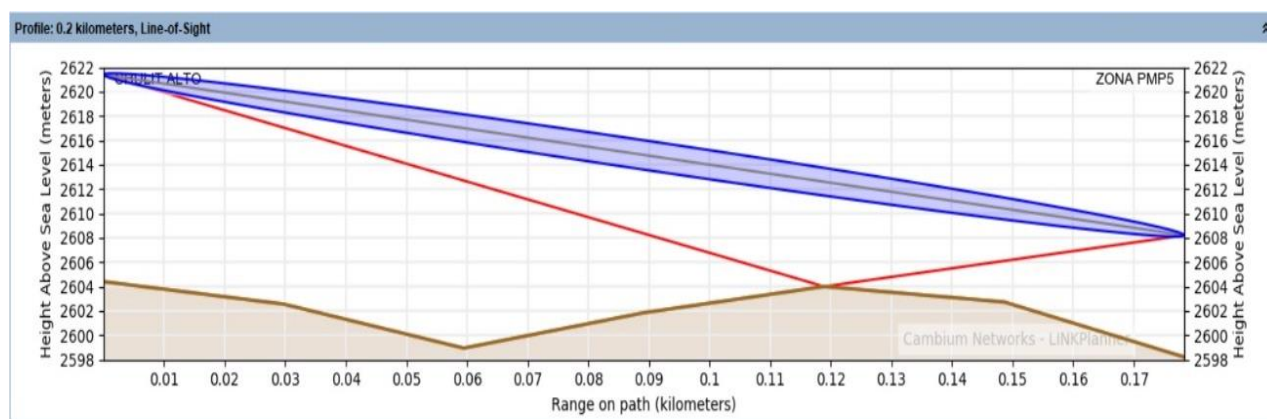


Figura 4.43. Perfil de elevación Enlace Nodo Chulit Alto a Estación interna 1.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Detalles del rendimiento:

Performance Details										
Common details										
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	63.1	56.8	50.5	37.9	25.2	18.9	12.6	31.6	28.4	25.2
Performance to Access Point										
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.6	28.5	25.3	19.0	12.7	9.5	6.3	15.8	14.3	12.7
Fade Margin (dB):	14.7	17.0	19.0	23.0	27.0	29.7	32.4	14.7	17.0	19.0
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module										
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.4	28.3	25.1	18.9	12.6	9.4	6.3	15.7	14.1	12.6
Fade Margin (dB):	28.0	32.0	36.0	42.0	47.0	51.0	56.0	31.0	35.0	39.0
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000

Figura 4.44. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chulit Alto a Estación interna 1.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Finalizada la simulación de este enlace se concluyó en operar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 23 dB una velocidad de transmisión 37,9Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.4.12 Enlace nodo Chulit Alto a estación interna 2 - (PMP)

El nodo Chuyabamba tiene una distancia de 0,24 km con la estación interna 1, a continuación, realizamos los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre:

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20F \times d [\text{db}] , F [\text{MHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5800 \text{ MHz} \quad d = 0,24 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 205800 \times 0,24 [\text{db}]$$

$$A_{EL} = 95,37 \text{ db}$$

Potencia de recepción:

$$P_r (\text{dbm}) = P_t (\text{dbm}) - A_{c1} (\text{db}) - A_{g1} (\text{db}) + G_{a1} (\text{dbi}) - A_{EL} (\text{db}) + G_{a2} (\text{dbi}) - A_{c2} (\text{db}) - A_{g2} (\text{db})$$

$$P_t = 14 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 95,37 \text{ db}$$

$$P_r (\text{dbm}) = -51,87 \text{ dbm}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 15.5 \text{ dbi}$$

Ancho de Banda Disponible:

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force190. La única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps en capacidad de transmisión.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Tomando en cuenta la información técnica de la tabla de Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force190, la única modulación que garantiza el requerimiento de transmitir 26Mbps mínimos es la 16QAM (MCS12) con un ancho de banda de 10Mhz quien ofrece un throughput en Down Link (15,6) y Up Link (16) que suma un total de 31,6Mbps promedio en capacidad de transmisión.

Simulación del enlace

Perfil de Elevación:

- Nodo Chulit Alto:
 - Altura de torre: 20m
 - Altura de antena: 17m
- Estación interna 2:
 - Altura de torre ventada: 13m
 - Altura de Antena: 10m

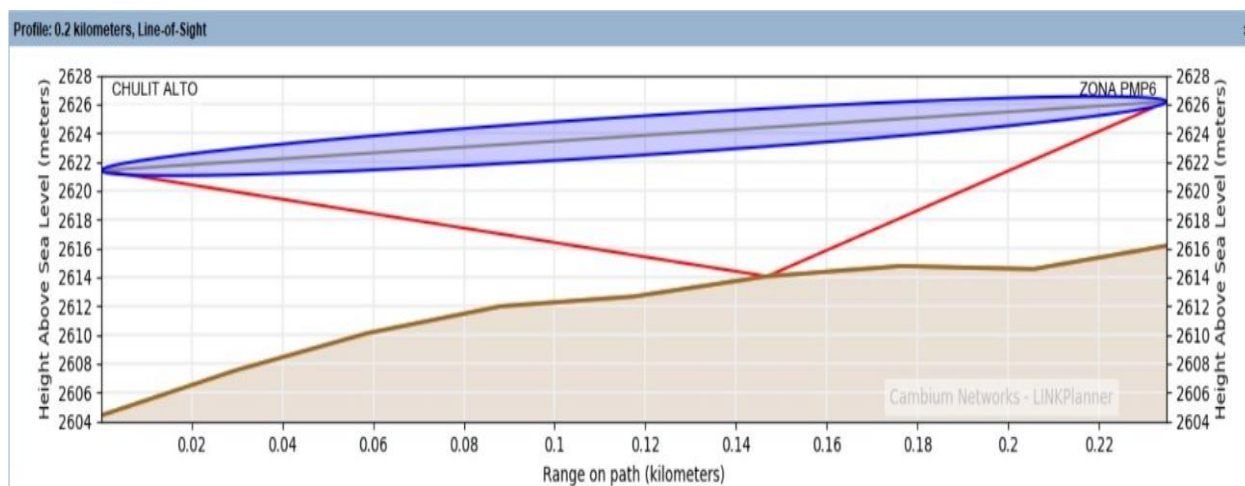


Figura 4.45. Perfil de elevación Enlace Nodo Chulit Alto a Estación interna 2.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Detalles del rendimiento:

Performance Details										
Common details										
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	63.1	56.8	50.5	37.9	25.2	18.9	12.6	31.6	28.4	25.2
Performance to Access Point										
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.6	28.5	25.3	19.0	12.7	9.5	6.3	15.8	14.3	12.7
Fade Margin (dB):	13.0	17.0	19.0	22.0	25.0	28.0	31.0	13.0	17.0	19.0
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module										
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	31.4	28.3	25.1	18.9	12.6	9.4	6.3	15.7	14.1	12.6
Fade Margin (dB):	23.0	27.0	31.0	38.0	41.0	43.0	47.0	26.0	30.0	34.0
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000

Figura 4.46. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Chulit Alto a Estación interna 2.

Fuente: Elaboración propia con software Link Planer

Finalizada la simulación de este enlace se concluyó en operar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 22 dB una velocidad de transmisión 37,9Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.4.13 Throughput de servicio del sistema de comunicaciones

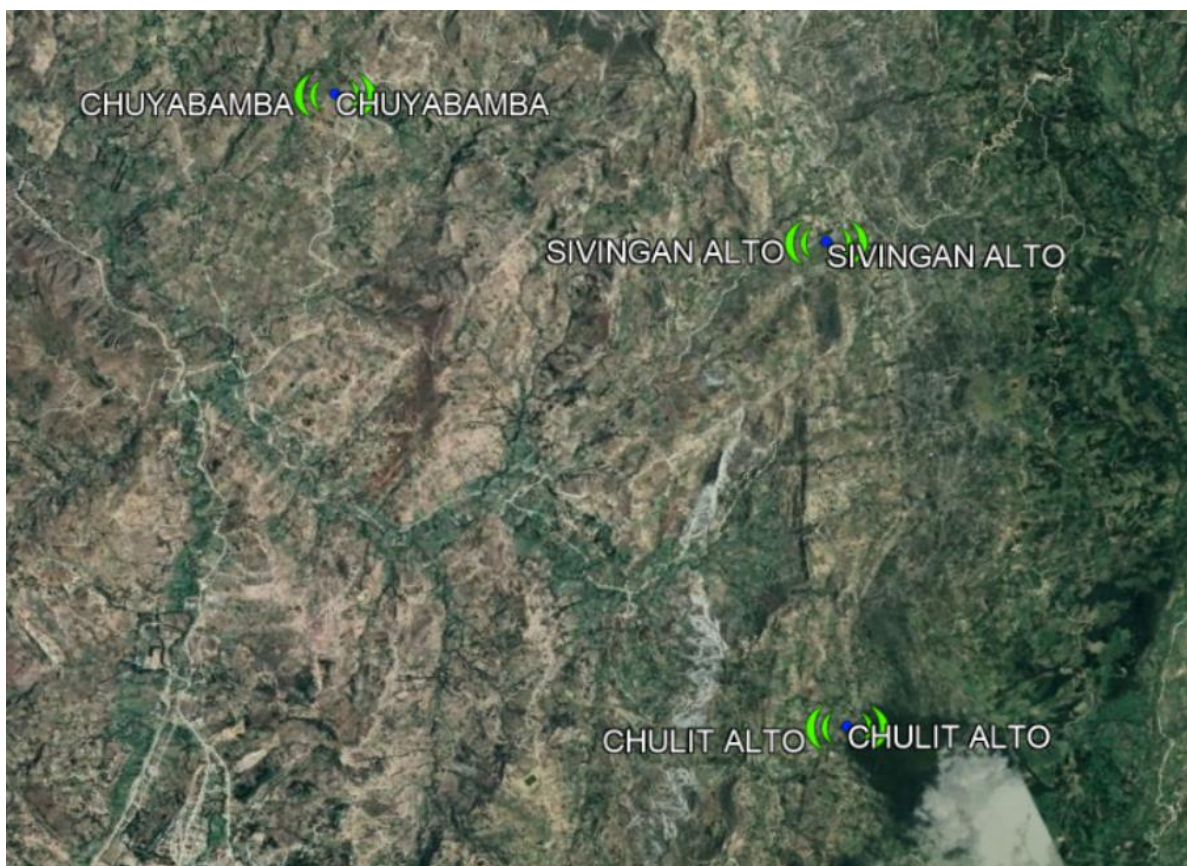


Figura 4.47. Distribución de throughput de servicio a cada localidad beneficiaria.

Fuente: Elaboración propia con software Google Earth

Con los resultados obtenidos de las simulaciones en el software Radio Mobile y Link Planer de cada enlace se garantizó que los nodos PTP Sivingan Bajo, Sivingan Alto, Chuyabamba y Chulit Alto tienen un throughput de 52Mbps y los PMP internos de 26Mbps mínimos en transferencia de datos.

4.3 Tecnología aplicada en el sistema de comunicaciones

Se muestran los detalles técnicos de los equipos y antenas propuestos en el diseño del sistema de comunicaciones.

4.3.1 Tecnología aplicada en los radioenlaces de comunicación entre nodos

4.3.1.1 CAMBIUM NETWORK PTP 670

Con el PTP 670, los operadores ahora tienen la flexibilidad de implementar no solo en topologías punto a punto, sino también en aplicaciones multipunto de alta capacidad (HCMP). HCMP permite que hasta ocho nodos remotos se conecten a una sola radio maestra. Esto abre nuevos modelos de implementación que permiten una implementación rápida, simplifican la planificación y al usar el mismo hardware, independientemente de la topología, un rápido retorno de la inversión en equipos y capacitación. Ya sea que su organización sea una empresa, agencia gubernamental o proveedor de servicios, los sistemas PTP 670 son soluciones ideales para una amplia gama de aplicaciones como T1 / E1 y reemplazos o extensiones de fibra, backhaul de video vigilancia, LTE, backhaul de macroceldas y celdas pequeñas, acceso de última milla, recuperación ante desastres, redundancia de red y conectividad de campus a edificio.

4.3.1.2 RDH4506B

La antena RDH4506B es compatible para el equipo PTP 670 Cambium Network, opera para enlaces punto a punto entre las frecuencias 5.25-5.85 Ghz, posee una polarización dual.

El equipo incorpora una antena con una ganancia de 38.4 dbi.

P/N	Description
RDH4506B	5.25-5.85 GHZ, 6-FT (1.8M), DUAL-POL, H-POL & V-POL

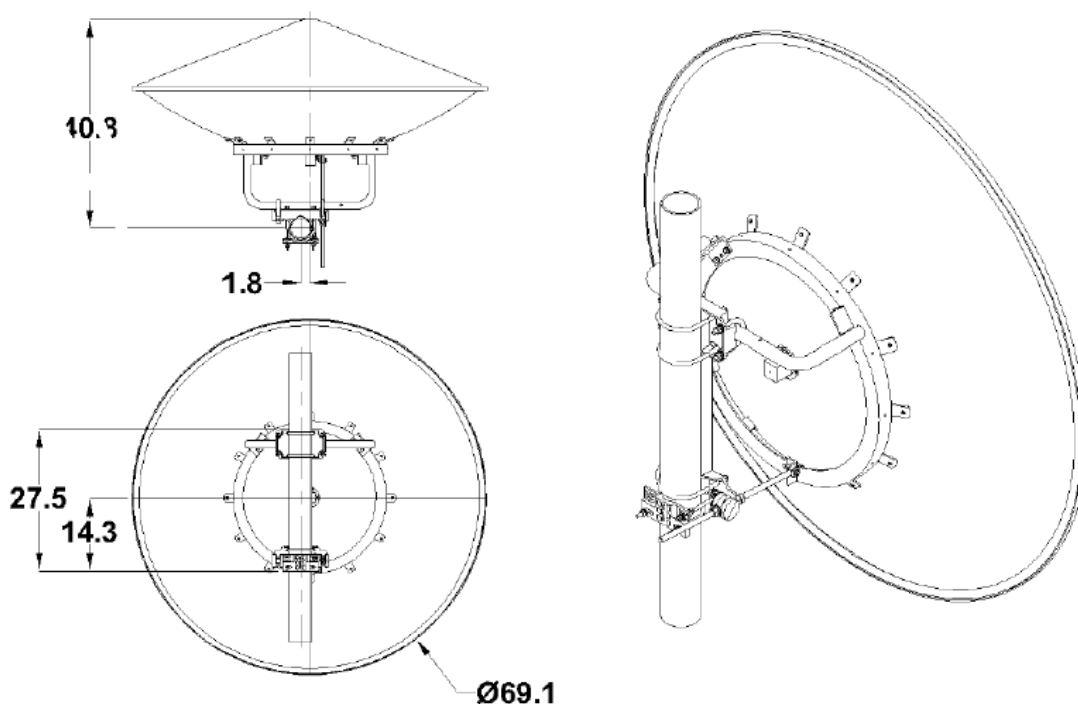


Figura 4.48. Antena - “RDH4506B” CAMBIUM Networks.

Fuente: PTP 5 GHz DUAL POLARIZED STANDARD PERFORMANCE ANTENNA
SPECIFICATION SHEET – PDF

4.3.1.3 RDH4503B

Para el enlace Sivingan Bajo – Sivingan Alto se utilizó el equipo PTP 670 Cambium Network con la antena compatible RDH4503B siendo esta la más idónea para dicho enlace

El equipo incorpora una antena con una ganancia de 28.5dbi.

Technical Drawings

P/N	Description
RDH4503B	5.25-5.85 GHZ, 2-FT (0.6M), DUAL-POL, H-POL & V-POL

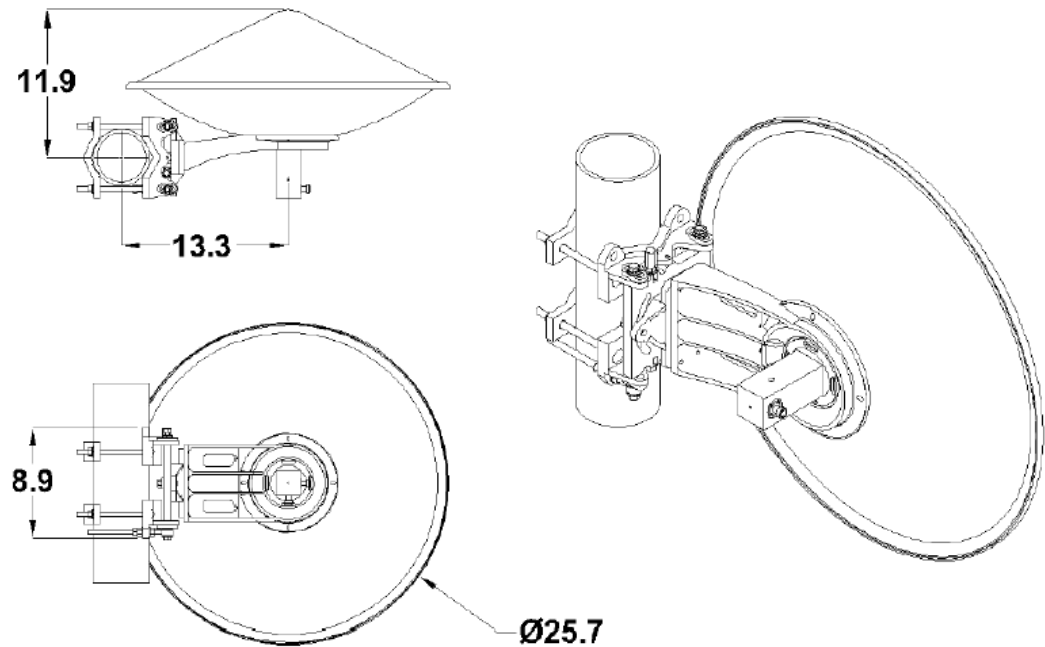


Figura 4.49. ANTENA - “RDH450B” Cambium Networks.

Fuente: PTP 5 GHz DUAL POLARIZED STANDARD PERFORMANCE ANTENNA
SPECIFICATION SHEET - PDF

4.3.1.4 RocketDish RD-5G30

El RocketDish RD-5G30 es una antena de la marca Ubiquiti Networks, opera para enlaces punto a punto compatible con el equipo ROCKET M5 tambien de la marca Ubiquiti Networks.

Respecto a la frecuencia de operación opera con las bandas:

✓ 5.1 - 5.8 GHz

La antena incorpora una antena con una ganancia de 30dbi.

Specifications

RocketDish RD-5G30	
Dimensions	650 x 650 x 304 mm
Weight	9.8 kg
Frequency	5.1 - 5.8 GHz
Gain	30 dBi
HPOL Beamwidth	5° (3 dB)
VPOL Beamwidth	5° (6 dB)
Front-to-Back Ratio	-34 dB
Max. VSWR	1.4:1
Wind Survivability	125 mph
Wind Loading	177 lb @ 125 mph
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	35 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included

Figura 4.50. Antena - “RocketDish RD-5G30” Ubiquiti Networks.

Fuente: RocketDish RD-5G30” Ubiquiti Networks - PDF

4.3.1.5 POWERBEAM

El POWERBEAM es un equipo de la marca Ubiquiti Networks, opera para enlaces punto a punto conectorizado con una antena modelo PBE-M5-620

Respecto a la frecuencia de operación opera con las bandas:

✓ 5150 - 5875 MHz

Este modelo incorpora una ganancia de 29dbi.



Figura 4.51. Antena - “PBE-M5-620” Ubiquiti Networks.

Fuente: “PBE-M5-620” Ubiquiti Networks - PDF

4.3.2 Tecnología aplicada en los radioenlaces de comunicación entre nodos y estaciones internas

En esta sección se especifican los equipos empleados en los enlaces punto multipunto aplicado en los distritos, a continuación, detallamos las características de los mismos.

4.3.2.1 EPMP FORCE190

- Máxima Potencia de transmisión: 30dbm**
- Banda de operación: -5 GHz [4910-5970]
- Tamaños de canal: 5, 10, 20 y 40 MHz
- Ganancia: 22 dBi.

Throughput for ePMP 50/50 Ratio)											
MCS	Spatial Streams	Mod. Type	Coding Rate	5 MHz		10 MHz		20 MHz		40 MHz	
				DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
MCS 15	2	64-QAM	5/6	10.5	11.4	25.9	26.9	56.5	58.4	115	114
MCS 14	2	64-QAM	3/4	9.35	10.3	23.4	24.2	50.6	51.8	104	105
MCS 13	2	64-QAM	2/3	8.19	9.17	21.1	21.5	44.6	46.7	94.2	95.7
MCS 12	2	16-QAM	3/4	6.23	6.9	15.6	16	33.6	34.8	70.4	72.3
MCS 11	2	16-QAM	1/2	4.09	4.56	10.5	10.6	22.4	23.1	46.9	47.8
MCS 10	2	QPSK	3/4	3.12	3.38	7.84	8.01	16.4	17.1	35.2	35.9
MCS 9	2	QPSK	1/2	1.95	2.24	5.08	5.27	11.1	11.3	23.4	23.5
MCS 7	1	64-QAM	5/6	5.26	5.85	12.9	13.7	28.2	28.7	58.9	60.8
MCS 6	1	64-QAM	3/4	4.68	5.33	11.7	12.2	25.8	25.9	54.1	53.7
MCS 5	1	64-QAM	2/3	4.21	4.69	10.5	10.7	22.3	23.1	47.1	48
MCS 4	1	16-QAM	3/4	3.12	3.45	7.82	8.01	16.8	17.1	35.2	36
MCS 3	1	16-QAM	1/2	2	2.26	5.16	5.3	11.1	11.3	23.4	23.8
MCS 2	1	QPSK	3/4	1.55	1.66	3.75	3.91	8.22	8.47	17.6	17.9
MCS 1	1	QPSK	1/2	0.938	1.07	2.35	2.35	5.49	5.63	11.8	11.8

Tabla 4.5. Modulation Mode/Coding schemes Force180, Force190 and force200
Fuente: (Cambium Networks, 2017)

- Corrección de errores / Mod: Modulación adaptable preventiva y rápida con 15 niveles de modulación / codificación que van desde (MCS0) BPSK a (MCS15) 64QAM “dual payload” MIMO
- Transferencia de datos: Capacidad plena: Hasta 200 Mbps
- Peso neto: 1.0 kg (2.2 lbs)



Figura 4.52. ePMP Force190-Cambium Networks.

Fuente: https://s.eet.eu/icmedia/mmo_39408800_1525697242_6364_31447.pdf
(cambium network, 2017)

4.3.2.2 EPMP FORCE180

- Máxima Potencia de transmisión: 30dbm
- Banda de operación: -5 GHz [4910-5970]
- Tamaños de canal: 5, 10, 20 y 40 MHz
- Ganancia: 16 dBi.

Throughput for ePMP 50/50 Ratio)

MCS	Spatial Streams	Mod. Type	Coding Rate	5 MHz		10 MHz		20 MHz		40 MHz	
				DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
MCS 15	2	64-QAM	5/6	10.5	11.4	25.9	26.9	56.5	58.4	115	114
MCS 14	2	64-QAM	3/4	9.35	10.3	23.4	24.2	50.6	51.8	104	105
MCS 13	2	64-QAM	2/3	8.19	9.17	21.1	21.5	44.6	46.7	94.2	95.7
MCS 12	2	16-QAM	3/4	6.23	6.9	15.6	16	33.6	34.8	70.4	72.3
MCS 11	2	16-QAM	1/2	4.09	4.56	10.5	10.6	22.4	23.1	46.9	47.8
MCS 10	2	QPSK	3/4	3.12	3.38	7.84	8.01	16.4	17.1	35.2	35.9
MCS 9	2	QPSK	1/2	1.95	2.24	5.08	5.27	11.1	11.3	23.4	23.5
MCS 7	1	64-QAM	5/6	5.26	5.85	12.9	13.7	28.2	28.7	58.9	60.8
MCS 6	1	64-QAM	3/4	4.68	5.33	11.7	12.2	25.8	25.9	54.1	53.7
MCS 5	1	64-QAM	2/3	4.21	4.69	10.5	10.7	22.3	23.1	47.1	48
MCS 4	1	16-QAM	3/4	3.12	3.45	7.82	8.01	16.8	17.1	35.2	36
MCS 3	1	16-QAM	1/2	2	2.26	5.16	5.3	11.1	11.3	23.4	23.8
MCS 2	1	QPSK	3/4	1.55	1.66	3.75	3.91	8.22	8.47	17.6	17.9
MCS 1	1	QPSK	1/2	0.938	1.07	2.35	2.35	5.49	5.63	11.8	11.8

Tabla 4.6. Modulation Mode/Coding schemes Force180, Force190 and force200

Fuente: (Cambium Networks, 2017)

- Corrección de errores / Mod: Modulación adaptable preventiva y rápida con 15 niveles de modulación / codificación que van desde (MCS0) BPSK a (MCS15) 64QAM “dual payload” MIMO
- Transferencia de datos: Capacidad plena: Hasta 200 Mbps
- Peso neto: 0.5 kg (1.1 lbs)



Figura 4.53. ePmP Force180-Cambium Networks.

Fuente: <https://www.uwave.com.my/wp-content/uploads/2017/10/ePMPForce180.pdf> (cambium network, 2015)

4.3.2.3 EPMP1000

La PMP1000 conectorizada tiene flexibilidad para conectarse a una variedad de antenas externas como panel de 90 y 120 grados de alta ganancia.

- Banda de operación: -5 GHz [5.150-5.850]
- Corrección de errores / Mod: Modulación adaptable preventiva y rápida con 15 niveles de modulación / codificación que van desde (MCS0) BPSK a (MCS15) 64QAM “dual payload” MIMO
- Transferencia de datos: -Capacidad plena: Hasta 150 Mbps
- Tamaños de canal: 5, 20 y 40 MHz
- Máxima Potencia de transmisión: 15dbm
- Peso neto: 0.49 kg (1.1 lbs)
- Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.



Figura 4.54. ePmP 1000conectorizado - Cambium Networks.

Fuente: <https://www.balticnetworks.com/docs/CN-EPMP1000-Connectorized-Radio-SS-040414.pdf> (Cambium network, 2014)

4.3.3 Tecnología aplicada para brindar el servicio en las estaciones internas

Una vez que la señal se encuentra en la estación interna, los equipos Epmp1000 Hotspot se encargan de propagar este servicio por medio de Wifi en un radio de cobertura de 180m, a continuación, se detalla las características de estos equipos.

4.3.3.1 EPMP1000 HOTSPOT

- Bandas de operación (IEEE 802.11n):
 - ✓ 2.4 – 2.484 GHz
 - ✓ 5.15 – 5.85 GHz
- Rango de cobertura: 180m
- Capacidad máxima de Througput: 300Mbps
- Clientes concurrentes: 128
- Ganancia de antena: $4.5 \pm 1\text{dbi}$ (2.4Ghz), $5.5 \pm 1\text{dbi}$ (5Ghz)
- Polarización: Vertical
- Consumo de potencia: 5W (7W máximo)
- Peso: 0.5kg
- Potencia de transmisión: 30dbm



Figura 4.55. ePmP1000 Hotspot - Cambium Networks.

Fuente: <https://www.cambiumnetworks.com/products/wifi/epmp-1000-hotspot-enterprise-wi-fi/> (Cambium network, 2015)

4.3.4 ¿Por qué aplicar equipos Cambium Networks y Ubiquiti?

Los productos Cambium Network ofrecen una variedad de modelos para enlaces tipo PTP y PMP, los equipos PMP son más requeridos por las personas que viven un poco alejadas de las principales ciudades y que necesitan de estos para realizar sus enlaces siendo su primera opción de comunicación y de llegar a coberturar con la demás población.

Y, en el caso de la marca Ubiquiti, los equipos que nos brinda esta marca son utilizados con mucha frecuencia para enlaces PTP, brindando una amplia gama de modelos y para cada necesidad de cada proyecto en los que se busca realizar enlaces de microondas, su costo no tan elevado, buena calidad y disponibilidad hacen de esta marca la preferida de muchas personas dedicadas a este oficio.

4.3.5 ¿Por qué utilizar los softwares Link Planer y Radio Mobile?

Para el caso del software link Planer ha sido el software de planificación de enlaces de microondas más usado en los últimos años, y es de la preferencia de las personas expertas en el tema para su uso y así obtener los resultados esperados, contando las diferentes modulaciones, con equipos PMP 450, 500, 670, etc y otros recursos complementarios que lo hacen diferente a otros software muy básicos que no nos brindarían los mismo resultados.

El software Radio Mobile nos ofrece una variedad de herramientas muy fáciles para el usuario que en poco tiempo logra familiarizarse y que de forma detalla puede hacer uso de todos los datos necesarios (ubicación, línea de vista, frecuencia, etc.) para que su diseño sea implementando, corregido y finiquitado logrando su propósito de obtener los mejores detalles para su proyecto.

4.4 Presupuesto para la implementación del proyecto

En este capítulo especificamos el monto que demanda la compra de los equipos así mismo de la infraestructura.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO				
CANTIDAD	CONCEPTO	MODELO	PRECIO UNIT.	MONTO (S/.)
2	CAMBIUM NETWORK	PTP 670	200	400
1	CAMBIUM NETWORK	RDH4506B	200	200
1	CAMBIUM NETWORK	RDH4503B	200	200
1	UBIQUITI	ROCKET M2	500	500
1	UBIQUITI	RocketDish RD-5G30	500	500
1	UBIQUITI	POWERBEAM PBE-M5-620	500	500
2	CAMBIUM NETWORK	Epmp Force190	1500	3000
4	CAMBIUM NETWORK	Epmp Force180	1500	6000
6	CAMBIUM NETWORK	Epmp Force1000	2000	12000
7	CAMBIUM NETWORK	Epmp 1000 Hotspot	500	3500
2	TORRE AUTOSOPORTADA 28m	-----	39200	78400
1	TORRE AUTOSOPORTADA 24m	-----	33600	33600
1	TORRE AUTOSOPORTADA 21m	-----	29400	29400
1	TORRE AUTOSOPORTADA 15m	-----	21000	21000
6	TORRE VENTADA 10m	-----	5000	30000
6	CABLE SFTP CAT 7A (305m- 1 caja)	DIXON	1000	6000
1	SWITCH'S - 12 PUERTOS	CISCO	1500	1500
87	CONECTORES RJ45	AMP	4	348
	Total			227048

Tabla 4.7. Presupuesto para adquisición del sistema de comunicaciones

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- ✓ Se logró obtener y estudiar estadísticas de nivel poblacional, índices de pobreza y crecimiento del distrito de Chota, asimismo se pudo determinar la ubicación geográfica de cada localidad que formó parte del clúster de telecomunicaciones, se validó la locación de estos pueblos en el software Google Earth.
- ✓ Se dimensionó la tasa de transferencia de datos para cada localidad beneficiaria, como también se diseñó la topología de los enlaces punto a punto, punto multipunto, se determinó las alturas de torres y antenas.
- ✓ Se simularon todos los enlaces microondas en el software Radio Mobile y Link Planer, en estos softwares se registraron datos de los equipos, como el nivel de potencia de transmisión, sensibilidad, ganancia de antena, y tipo de modulación. Al finalizar las simulaciones se obtuvieron datos favorables que cumplieron con los requerimientos mínimos que se contemplaron.
- ✓ En cada enlace final se obtuvieron 26Mbps propagados por estaciones internas, con un nivel de confiabilidad y disponibilidad.

RECOMENDACIONES

- ✓ Asegurarse de tener todas las herramientas necesarias para obtener todos los requisitos que conllevan la implementación de un proyecto en telecomunicaciones.
- ✓ Contar con una información verídica y proporcionada de preferencia por instituciones gubernamentales o privadas, para que el desarrollo sea fluido y sin ningún inconveniente.
- ✓ Para tener un correcto funcionamiento el diseño se debe tener en cuenta las ubicaciones más beneficiosas que proporcionen una buena línea de vista para obtener enlaces directos sin repetidores y una buena comunicación Wifi
- ✓ Se debe tener muy en cuenta operar en bandas no licenciadas para que el proyecto no tenga un exceso económico y pueda desarrollarse.
- ✓ Se informar y capacitar a las poblaciones sobre equipos de telecomunicaciones (equipos, antenas, cableado, etc.) e infraestructura (torres) para tener un medio de fiabilidad y que el proyecto se desarrolle con total eficacia.
- ✓ Para el cálculo de los detalles técnicos de los enlaces PMP, el uso del software fue LINK PLANER es muy recomendado porque ofrece las herramientas adecuadas para tener buenos resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Fernando Wilfredo Ramírez Marocho, (2017). “Diseño de un sistema de telecomunicaciones con redes ad hoc de drones como alternativa de medio de comunicación para hacer frente a desastres naturales”. Pontificia *Universidad Católica del Perú*.
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8820>
- Wayne Tomasi, (2003). “Sistemas de comunicación electrónica”, Phoenix Arizona, 4ta edición, Prentice Hall.
<http://fernandoarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>
- José Quispe, (2017). “Simulación de una red inalámbrica estándar ieee 802.16e con link planner para dar servicio de internet en distrito de ácora”. Universidad Andina “Néstor Cáceres Velasquez”.
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/878?show=full>
- David Pozar, (2012). “Microwave Engineering”. professor of Electrical and Computer Engineering at University of Massachusetts.
<http://hasanahputri.staff.telkomuniversity.ac.id/files/2016/09/Microwave-Engineering-2nd-Ed-David-Pozar-OCRed.pdf>
- Randal Jackson, (2005). “Planes Quest Tecnology”. Nasa.
<https://planetquest.jpl.nasa.gov/tecnology/diffraction.html>
- Aybar Carmona Jerson Jesús, García Miranda Erick Eduardo y Arenas Yataco Esther, (2016), “Diseño y aplicación un sistema de comunicaciones via red de datos para mejorar la toma de decisiones en la sede del ministerio de transportes y comunicaciones de la ciudad de ica”. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/461/BC-TES-4223.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Medina Guzmán, (2009). "FISICA II". Profesor de la Pontificia *Universidad Católica del Perú*.

<https://academia2011.files.wordpress.com/2011/12/fc3adsica-hugo-medina-guzmc3a1n.pdf>

INEI, (2017). "Instituto nacional de estadística".

<http://censo2017.inei.gob.pe/>

CEPLAN, (2017). "Reporte estadístico de INEI 2017 y devengado per cápita de distritos".

https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/2017/08/01-Per%C3%BA_Poblaci%C3%B3n-que-requiere-atenci%C3%B3n-adicional-y-devengado-Per-c%C3%A1pita.-Setiembre2017-FINAL.pdf

Cambium Networks (2019). "Página oficial de la marca Cambium Networks".

<https://www.cambiumnetworks.com/>

Cambium Networks (2019). "Detalles técnicos del equipo modelo PTP670"

https://cdn.cambiumnetworks.com/wp-content/uploads/2017/06/SS_PTP670_03202018.pdf

Cambium Networks (2019). "Especificaciones técnicas de las antenas compatibles con equipo PTP670"

https://www.winncom.com/pdf/Cambium_DualPol_SP_Dish/Cambium_5GHz_DualPol_SP_Dish.pdf

Ubiquiti Network (2019). "Especificaciones técnicas de PBE-M5-620 29dbi"

https://wni.mx/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage_new.tpl&product_id=598&category_id=82&option=com_virtuemart&Itemid=48

Ubiquiti Networks (2019). "Especificaciones técnicas de equipo PowerBeam"

https://dl.ubnt.com/datasheets/powerbeam/PowerBeam_DS.pdf

Cambium Networks (2015). “ePmP Force180”. Obtenido de:
<https://www.uwave.com.my/wp-content/uploads/2017/10/ePMPForce180.pdf>

Cambium Networks (2014). “ePmP 1000conectorizado”. Obtenido de:
<https://www.balticnetworks.com/docs/CN-EPMP1000-Connectorized-Radio-SS-040414.pdf>

Cambim Networks (2015). “USERGUIDE EPMP”. Obtenido de:
www.balticnetworks.com/docs/ePMPuserGuide.pdf

Link Planer, (2018). “Software de simulación”. Obtenido de:
<http://www.cambiumnetworks.com/products/management/linkplanner/>

Radio Mobile, (2013). “Software de simulación”. Obtenido de:
<http://radiomobile.pe1mew.nl/?Installation:Download>

Cambium Networks (2017). “ePmP Force190”. Obtenido de:
https://s.eet.eu/icmedia/mmo_39408800_1525697242_6364_31447.pdf

Cambium Networks (2015). “ePmP1000 Hotspot”. Obtenido de:
<https://www.cambiumnetworks.com/products/wifi/epmp-1000-hotspot-enterprise-wi-fi/>

Wikipedia (2019). “Información histórica del distrito de Chota”
https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Chota